

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

**APPLICAZIONE DEL SISMA BONUS SU UN EDIFICIO
ESISTENTE IN CALCESTRUZZO ARMATO**

Relatore

Prof. Alessandro P. Fantilli

Candidato

Giulia Bandiera

9 Ottobre 2019

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	V
INDICE DELLE TABELLE.....	VIII
ABSTRACT	XI
CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE	1
1.1. STRUTTURA DELLA TESI	1
1.2. INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
1.3. OBIETTIVI	6
CAPITOLO 2 – LE STRUTTURE ESISTENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO.....	7
2.1. DEFINIZIONE DEL MODELLO RAPPRESENTATIVO DELLO STATO ATTUALE.....	9
2.2. ANALISI DELLO STATO ATTUALE.....	10
2.3. PROGETTO DEGLI INTERVENTI.....	11
CAPITOLO 3 – IL SISMA BONUS.....	13
3.1. ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI RISCHIO	16
3.2. IL METODO CONVENZIONALE	18
3.3. IL METODO SEMPLIFICATO.....	21
3.4. OBIETTIVO DELLO STRUMENTO	22
CAPITOLO 4 – IL CASO STUDIO	23
4.1. COLLOCAZIONE DELL’OPERA.....	23
4.2. DESCRIZIONE DELL’OPERA	24
4.2.1. TRACCIAMENTO DEI PILASTRI.....	26
4.2.2. PIANTA DELLE FONDAZIONI.....	28
4.2.3. SOLAIO QUOTA 25.10 m (grezzo).....	29
4.2.4. SOLAIO QUOTA 29.00 m (grezzo).....	32
4.3. INDAGINI STRUTTURALI	36
4.4. LA MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	41
4.5. IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	49
4.5.1. ANALISI DINAMICA LINEARE	51
4.5.2. ANALISI STATICA LINEARE.....	59
4.6. VERIFICHE DI RESISTENZA	63
4.6.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI.....	64
4.6.2. VERIFICA A TAGLIO DEI PILASTRI (SLU)	79

4.6.3.	VERIFICA A FLESSIONE E A TAGLIO DELLE TRAVI (SLU).....	92
4.6.4.	VERIFICA DEI PLINTI DI FONDAZIONE.....	109
4.7.	INTERVENTI SULLA STRUTTURA.....	110
4.8.	INTERVENTO DI ADEGUAMENTO	117
4.8.1.	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE E A TAGLIO	120
4.9.	INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DELLA STRUTTURA	132
4.9.1.	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE E A TAGLIO	132
4.10.	INTERVENTI PER LE TRAVI.....	150
4.11.	VERIFICHE SUI PLINTI POST-INTERVENTI	153
5.	CALCOLO DEL GRADO DI DIFFORMITA' DELLA STRUTTURA.....	154
6.	APPLICAZIONE DEL SISMA BONUS AL CASO DI STUDIO	160
6.1.	CALCOLO DELL'INDICE DI SICUREZZA IS-V	160
6.1.1.	INDICE DI SICUREZZA IS-V DELLA STRUTTURA ESISTENTE.	161
6.1.2.	INDICE DI SICUREZZA IS-V DELLA STRUTTURA ADEGUATA SISMICAMENTE	164
6.1.3.	INDICE DI SICUREZZA IS-V DELLA STRUTTURA MIGLIORATA SISMICAMENTE	165
6.2.	CALCOLO DELLA PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA (PAM).....	166
6.2.1.	PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA DELLA STRUTTURA ESISTENTE	167
6.2.2.	PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA PAM DELLA STRUTTURA ADEGUATA.....	171
6.2.3.	PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA PAM DELLA STRUTTURA MIGLIORATA.....	173
6.3.	ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO E DETRAZIONI FISCALI DEL SISMA BONUS	176
	CONCLUSIONI	178
	ALLEGATO A	181
	TABELLE DI VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI ALLO STATO DI FATTO	181
	CASO SISMICO	181
	CASO STATICO.....	184
	TABELLE DI VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO DEI PILASTRI ALLO STATO DI FATTO	187
	CASO SISMICO	187
	CASO STATICO.....	193

TABELLE DI VERIFICA A FLESSIONE DELLE TRAVI ALLO STATO DI FATTO.....	199
CASO STATICO	199
SOLAIO A QUOTA 29,00 m.....	203
TABELLE DI VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO DELLE TRAVI ALLO STATO DI FATTO.....	206
CASO STATICO	206
TABELLE DI VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI POST-ADEGUAMENTO	213
CASO SISMICO.....	213
TABELLE DI VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO DEI PILASTRI POST-ADEGUAMENTO	216
CASO SISMICO.....	216
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	222

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. [3]	5
Figura 2 – Andamento della curva che individua la PAM. [10]	17
Figura 3– Scala Macrosismica Europea (EMS).	21
Figura 4 – Inquadramento planimetrico del fabbricato oggetto di studio.	23
Figura 5 – Certificato di prova di compressione su conglomerato cementizio.	36
Figura 6 – Certificato di prove di trazione e di piegamento, barra di acciaio Fe B 44	37
Figura 7 – Localizzazione dei punti di prova, solaio quota 29,00 m.	38
Figura 8 – Modello numerico, Software di Calcolo Strutturale CDM Dolmen.	41
Figura 9 – Modellazione solaio quota 25,10 m.	44
Figura 10 – Modellazione solaio 29,00 m.	44
Figura 11 – Armatura del pilastro P1 come da elaborati, progettata in Dolmen.	45
Figura 12 – Armatura Travata 3 come da elaborati, progettata in Dolmen.	46
Figura 13 – Pianta dei plinti, importata in IS Plinti.	47
Figura 14 – Carpenteria metallica plinto 10, progettata in Dolmen.	48
Figura 15 – Zona in cui è ubicato l’edificio, CDM Dolmen.	51
Figura 16 – Categoria di suolo da NTC 2018, CDM Dolmen.	52
Figura 17– Categoria topografica da NTC 2018, CDM Dolmen.	52
Figura 18 – Fattore di struttura da NTC 2018, CDM Dolmen.	53
Figura 19 – Dati di progetto da NTC 2018, CDM Dolmen.	53
Figura 20 – Spettro di Progetto da NTC 2018, CDM Dolmen.	54
Figura 21 – Analisi dinamica lineare da NTC 2018, CDM Dolmen.	55
Figura 22 – Autovettore 1, deformata animata CDM Dolmen.	56
Figura 23 – Autovettore 2, deformata animata CDM Dolmen.	56
Figura 24 – Autovettore 3, deformata animata CDM Dolmen.	57
Figura 25 – Diagramma delle sollecitazioni N_{Ed} della struttura, CDM Dolmen.	57
Figura 26 – Diagramma delle sollecitazioni M_{zEd} della struttura, CDM Dolmen.	58
Figura 27– Diagramma delle sollecitazioni V_{yEd} della struttura, CDM Dolmen.	58
Figura 28– Centro delle masse e centro delle rigidzze, solaio quota 25,10 m.	62
Figura 29– Centro delle masse e centro delle rigidzze, solaio quota 29,00 m.	62

Figura 30 – Caratteristiche dei casi di carico.	65
Figura 31 – Carpenteria pilastro P1.	66
Figura 32 – Carpenteria pilastro P11.	69
Figura 33– Carpenteria pilastro P17.	72
Figura 34 – Diagrammi delle sollecitazioni V_{Edy} e V_{Edz} per il caso 4 e 5, pilastro P1.	82
Figura 35 – Diagrammi delle sollecitazioni V_{Edy} e V_{Edz} per il caso 4 e 5, pilastro P11.	84
Figura 36 – Diagrammi delle sollecitazioni V_{Edy} e V_{Edz} per il caso 5 e 4, pilastro P17.	86
Figura 37 – Diagrammi delle sollecitazioni V_{yED} e V_{zED} caso di carico 1, pilastro P1.	88
Figura 38 – Carpenteria e diagrammi di momento M_{Ed} e taglio V_{Ed} , travata 3.	94
Figura 39– Carpenteria e diagrammi di momento M_{Ed} e taglio V_{Ed} , travata 5.	96
Figura 40– Carpenteria e diagrammi di momento M_{Ed} e taglio V_{Ed} , trave 14.	98
Figura 41 – Carpenteria e diagrammi di M_{Ed} e V_{Ed} della travata 1a.	100
Figura 42 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , travata 5a.	102
Figura 43 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , trave 12.	104
Figura 44 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , trave 14.	106
Figura 45 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , trave 8.	108
Figura 46 – Schematizzazione dell’incamiciatura in c.a. di un pilastro. [13]	113
Figura 47 – Caratteristiche tecniche di CARBOSTRU® UD HM_HR 400/10–15	116
Figura 48 – Esempi di fasce rinforzanti a taglio applicate a travi.	116
Figura 49 – Centro delle masse e delle rigidezze post–intervento, solaio 25,10 m.	119
Figura 50 – Centro delle masse e delle rigidezze post–intervento, solaio 29,00 m.	119
Figura 51 – Diagrammi di M_{yED} e M_{zED} per il caso di carico 5, pilastro P1.	120
Figura 52 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P1.	121
Figura 53 – Diagrammi di M_{yED} e M_{zED} per il caso di carico 4, pilastro P11.	124
Figura 54 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P11.	125
Figura 55 – Diagrammi di M_z e M_y per il caso di carico 4, pilastro P17.	128
Figura 56– Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} , caso di carico 5 e 4, pilastro P17.	129
Figura 57– Diagrammi di M_{zED} e M_{yED} per il caso di carico 1, pilastro P1.	133
Figura 58 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P1.	134
Figura 59 – Diagrammi di M_{zED} e M_{yED} per il caso di carico 1, pilastro P11.	137
Figura 60 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P11.	138
Figura 61 – Diagrammi di M_{zED} e M_{yED} per il caso di carico 1, pilastro P17.	141

Figura 62– Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P17.	142
Figura 63 – Calcolo fibre in carbonio CARBOSTRU UDHM 400/10.	150
Figura 64 – Verifica a flessione e a taglio della Trave 14 post–intervento.	151
Figura 65 – Calcolo fibre in carbonio CARBOSTRU UDHM 400/20.	152
Figura 66 – Verifica a flessione e a taglio della Trave 14 post–intervento.	152
Figura 67 – Grafico di correlazione GD–ISV della struttura oggetto di studio.	158
Figura 68 – Vulnerabilità sismica della struttura esistente.	161
Figura 69 – Parametri di domanda di capacità della struttura, IS–V=0,05.	162
Figura 70 – Parametri di domanda e capacità della struttura, per IS–V=0,15.	163
Figura 71 – Parametri di domanda e capacità della struttura, per IS–V=1.	164
Figura 72 – Parametri domanda e di capacità della struttura, IS–V=0,4.	165
Figura 73 – Costo di Ricostruzione relativo agli Stati Limite.	167
Figura 74 – Parametri di domanda e capacità della struttura, IS–V=15%.	167
Figura 75 – Curva delle perdite economiche e calcolo PAM.	170
Figura 76 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo la PAM.	170
Figura 77 –Curva delle perdite economiche e calcolo PAM.	172
Figura 78 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo PAM.	173
Figura 79 –Curva delle perdite economiche e calcolo PAM.	175
Figura 80 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo PAM.	175

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1– Attribuzione della Classe di Rischio PAM in funzione dell’entità delle	18
Tabella 2 – Attribuzione della Classe di Rischio IS–V in funzione dell’entità	18
Tabella 3 – Percentuale del costo di ricostruzione (CR),	20
Tabella 4 – Dimensioni plinti. Tabella 5 – Dimensioni pilastri.	34
Tabella 6 – Dimensioni travi solaio piano 1.	35
Tabella 7 – Dimensioni travi solaio piano 2.	35
Tabella 8– Sintesi dei risultati delle prove sulle carote estratte.	38
Tabella 9– Prove di pullout.	39
Tabella 10– Prove sclerometriche.	39
Tabella 11- Prove Leeb.	40
Tabella 12 – Tabella ferri Plinto 10.	48
Tabella 13 – Modi di vibrare della struttura pre–intervento.	55
Tabella 14– Forze e momenti torcenti di piano	59
Tabella 15 – Tabella delle rigidezze strutturali.	60
Tabella 16 - Verifica a pressoflessione deviata pilastro P1.	67
Tabella 17– Tabella di verifica pilastro P1.	67
Tabella 18 – Verifica a pressoflessione deviata pilastro P11.	70
Tabella 19– Tabella di verifica pilastro P1.	70
Tabella 20– Verifica a pressoflessione deviata pilastro P16.	73
Tabella 21– Tabella di verifica pilastro P17.	73
Tabella 22– Verifica a pressoflessione deviata pilastro P1.	76
Tabella 23– Tabella di verifica pilastro P1.	77
Tabella 24– Verifica a taglio lungo y del pilastro P1.	81
Tabella 25– Verifica a taglio lungo z del pilastro P1.	81
Tabella 26– Verifica a taglio lungo y del pilastro P11.	83
Tabella 27– Verifica a taglio lungo z del pilastro P11.	83
Tabella 28– Verifica a taglio lungo y del pilastro P17.	85
Tabella 29– Verifica a taglio lungo z del pilastro P17.	85
Tabella 30– Verifica a taglio lungo y del pilastro P1.	87

Tabella 31– Verifica a taglio lungo z del pilastro P1.	87
Tabella 32 –Verifica a flessione caso sismico e caso statico, pilastro 1.	90
Tabella 33 –Verifica a taglio caso sismico e caso statico, pilastro 1.	90
Tabella 34 – Verifica a flessione caso sismico e caso statico, pilastro 11.	91
Tabella 35 – Verifica a taglio caso sismico caso statico, pilastro 11.	91
Tabella 36 – Verifica a flessione della Travata 3.	93
Tabella 37 – Verifica di resistenza a taglio della Travata 3.	94
Tabella 38 – Verifica a flessione della travata 5.	95
Tabella 39 – Verifica a taglio della travata 5.	95
Tabella 40 – Verifica a flessione della trave 14.	97
Tabella 41 – Verifica a taglio della trave 14.	97
Tabella 42 – Verifica a flessione della travata 1a.	99
Tabella 43 – Verifica a taglio della travata 1a.	99
Tabella 44 – Verifiche dei plinti di fondazione.	109
Tabella 45 – Elenco pilastri oggetto di incamiciatura in c.a.	114
Tabella 46 – Forze e momenti torcenti di piano	117
Tabella 47 – Tabella delle rigidezze strutturali post–intervento.	118
Tabella 48 – Modi di vibrare della struttura post–intervento.	119
Tabella 49 – Verifica a pressoflessione pilastro P1.	123
Tabella 50 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P1.	123
Tabella 51 – Verifica a pressoflessione pilastro P11.	127
Tabella 52 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P11.	127
Tabella 53 – Verifiche sul pilastro P17.	129
Tabella 54 –Verifica a pressoflessione pilastro P17.	131
Tabella 55 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P17.	131
Tabella 56 – Verifica a pressoflessione pilastro P1.	136
Tabella 57 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P1.	136
Tabella 58 – Verifica a pressoflessione pilastro P11.	140
Tabella 59 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P11.	140
Tabella 60 –Verifica a pressoflessione pilastro P17.	143
Tabella 61 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P17.	143
Tabella 62 – Tabella di confronto delle armature dei pilastri.	145

Tabella 63– Verifiche a flessione prima e dopo gli interventi, pilastro P1.	147
Tabella 64 – Verifiche a taglio prima e dopo gli interventi, pilastro P1.	147
Tabella 65 – Verifiche a flessione prima e dopo gli interventi, pilastro P11.	148
Tabella 66 – Verifiche a taglio prima e dopo gli interventi, pilastro P11.	148
Tabella 67 – Verifiche a flessione prima e dopo gli interventi, pilastro P17.	149
Tabella 68 – Verifiche a taglio prima e dopo gli interventi, pilastro P17.	149
Tabella 69– Verifiche dei plinti di fondazione.	153
Tabella 70 – Grado di difformità negli elementi pilastro della struttura.	155
Tabella 71 – Correlazione $GD-ISV-\rho$.	157
Tabella 72 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS–V.	162
Tabella 73 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS–V.	163
Tabella 74 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS–V.	164
Tabella 75 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS–V.	165
Tabella 76 – Stato Limite di Salvaguardia della Vita	168
Tabella 77 – Stato Limite di Collasso	168
Tabella 78 – Stato Limite di Danno	168
Tabella 79 – Stato Limite di Operatività	168
Tabella 80 – Stato Limite Inizio Danno	169
Tabella 81 – Costo di ricostruzione CR e frequenza media annua di superamento λ .	169
Tabella 82 – Stato Limite di Salvaguardia della Vita	171
Tabella 83 – Stato Limite di Collasso	171
Tabella 84– Stato Limite di Danno	171
Tabella 85 – Stato Limite di Operatività.	172
Tabella 86 – Costo di ricostruzione CR e frequenza media annua di superamento λ .	172
Tabella 87 – Stato Limite di Salvaguardia della Vita.	173
Tabella 88 – Stato Limite di Collasso	174
Tabella 89– Stato Limite di Danno	174
Tabella 90 – Stato Limite di Operatività.	174
Tabella 91 – Costo di ricostruzione CR e frequenza media annua di superamento λ .	174

ABSTRACT

Lo studio condotto con la presente Tesi è mirato a confrontare la Classe di Rischio Sismico di una costruzione esistente in calcestruzzo armato, con quella raggiunta a seguito della progettazione degli opportuni interventi edilizi.

Lo scopo della classificazione è quello di determinare la percentuale di detrazione fiscale corrisposta mediante il Sisma Bonus, lo strumento di regolamentazione di incentivi fiscali riguardante le spese sostenute in ambito di sicurezza sismica.

Come prima fase è stato studiato l'edificio con il supporto degli elaborati originali e delle relazioni dell'epoca di costruzione, al fine di conoscere la geometria della struttura, le caratteristiche meccaniche dei materiali, i carichi gravanti sui solai e i dati sismici relativi al sito.

Raggiunta una conoscenza adeguata del fabbricato, si è proceduto con la modellazione strutturale usando il Programma di Calcolo Strutturale "CDM Dolmen", al fine di svolgere le Analisi Statica e Dinamica Lineari, secondo le "Norme Tecniche per le Costruzioni" DM 17 gennaio 2018; le analisi sono state condotte su diversi modelli, valutando l'influenza delle azioni sismiche sulle sollecitazioni nella struttura. A seguito delle verifiche di resistenza sugli elementi strutturali componenti la sovrastruttura, sono state progettate incamiciature in calcestruzzo armato per i pilastri, e fasciature in fibra di carbonio nelle sezioni delle travi più sollecitate, per aumentare la sicurezza strutturale dell'edificio.

L'edificio è stato quindi analizzato dopo la progettazione dei suddetti interventi su due modelli differenti, distinguendo il caso di adeguamento sismico e il caso di miglioramento sismico.

La variazione della tipologia di interventi e la conseguente entità dell'impatto sul comportamento della struttura, è stata associata al calcolo del Grado di Difformità della struttura rispetto ai requisiti richiesti dalla Normativa attuale; questo parametro, confrontato con il parametro Indice di Sicurezza, ha permesso di svolgere uno studio qualitativo sul fabbricato al variare della percentuale di armatura.

La Classe di Rischio Sismico dell'opera nella conformazione esistente e in quella post-interventi è stata calcolata usando il metodo convenzionale riportato nelle "Linee Guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni", Decreto Ministeriale 58 del 28 febbraio 2017.

Come conclusione dello studio svolto, è stata determinata la percentuale di detrazione fiscale, il cosiddetto Sisma Bonus, a seconda del numero dei livelli di classificazione sismica incrementati dopo gli interventi progettati.

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

1.1. STRUTTURA DELLA TESI

La presente tesi è costituita da 6 capitoli.

Nella prima parte viene spiegato lo strumento del Sisma Bonus con la relativa Normativa, a cui segue la fase di conoscenza della struttura oggetto di studio.

Raggiunto un livello di conoscenza adeguato viene trattata la modellazione con Dolmen, a cui seguono le analisi e le verifiche di resistenza sugli elementi strutturali dell'opera allo stato di fatto.

Nella seconda parte segue lo studio di due tipologie di interventi sulla struttura, con le relative analisi e verifiche di resistenza, al fine di valutare quella più consona per l'organismo edilizio. In questa parte è stato calcolato il Grado di Difformità della struttura rispetto alla stessa struttura progettata secondo le Norme Tecniche vigenti.

Al termine è stato affrontato il calcolo dei parametri che hanno permesso di classificare sismicamente la struttura allo stato di fatto e dopo le due tipologie di intervento, per poi valutare la percentuale di incentivi corrisposta dal Sisma Bonus.

Capitolo 1 – Introduzione

In questo capitolo è stato fatto un breve resoconto dei contenuti della Tesi, con l'inquadramento di alcuni argomenti strettamente connessi al tema affrontato, e la delineazione degli obiettivi principali.

Capitolo 2 – Le strutture esistenti in calcestruzzo armato

Nel presente capitolo sono state evidenziate le problematiche legate agli edifici esistenti in calcestruzzo armato in Italia.

Sono stati delineati i passaggi dettati dalla Normativa vigente, necessari al fine di raggiungere un livello di conoscenza consono, e giustificare la progettazione di un eventuale intervento sulla struttura.

Capitolo 3 – Il Sisma Bonus

In questo capitolo viene descritto nello specifico lo strumento che permette di ottenere i benefici fiscali, il Sisma Bonus, introdotto dal Decreto Ministeriale 58 del 28.02.2017, con le “Linee Guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni”. Viene spiegato in particolare il metodo convenzionale, utilizzato per determinare la Classe di Rischio Sismico di edifici in calcestruzzo armato, come nel caso studio.

Capitolo 4 – Il caso studio

Nel Capitolo 4 viene presentato il caso studio della tesi, e viene svolta la modellazione mediante Software seguita dalle analisi e dalle verifiche di resistenza.

Nella prima parte è riportato il rilievo geometrico della costruzione mediante gli elaborati dell’epoca opportunamente ridisegnati; sono specificate le caratteristiche meccaniche dei materiali, elaborate sia all’epoca di costruzione che negli ultimi anni, ed è descritto il procedimento di modellazione e le analisi con le relative valutazioni della sicurezza.

Nella seconda parte segue la scelta della modalità di intervento sulla struttura, con le relative analisi ripetute per le varie conformazioni possibili; seguono le verifiche e le considerazioni post-intervento.

Capitolo 5 – Misura del Grado di Difformità della struttura

Nel Capitolo 5 viene effettuato lo studio qualitativo mirato a valutare il Grado di Difformità tra il comportamento della struttura esistente e il comportamento della struttura stessa riprogettata secondo le Norme Tecniche vigenti.

Con lo studio del Grado di Difformità correlato all’Indice di Sicurezza, sono state tratte considerazioni riguardo la variazione di percentuale di armatura nella struttura e i due tipi di interventi pensati.

Capitolo 6 – Applicazione del Sisma Bonus al caso di studio

Nel presente capitolo vengono calcolati i due parametri necessari per definire la Classe di Rischio Sismico della struttura: l'Indice di Sicurezza (IS-V) e la Perdita Media Annuale della Vita (PAM). Sia l'IS-V che la PAM sono stati calcolati prima e dopo gli interventi scelti; tra le classi individuate dai due parametri è stata considerata la peggiore. Al termine è stata stabilita la percentuale di detrazione fiscale corrisposta dal Sisma Bonus.

Conclusioni

Nel Capitolo 6 vengono riportate le considerazioni finali e i commenti relativamente agli obiettivi raggiunti a seguito dello svolgimento della Tesi.

1.2. INQUADRAMENTO GENERALE

Tra il 1997 e il 2016 numerosi eventi sismici hanno colpito e devastato il Centro Italia; a seguito di questi episodi è nata l'emergenza di intervenire in modo preventivo sul patrimonio edilizio esistente, con interventi di miglioramento o adeguamento sismico atti a raggiungere livelli di sicurezza accettabili. [1]

L'urgenza di intervenire sulla fragilità degli edifici esistenti nel territorio nazionale ha portato al bisogno di promuovere la messa in sicurezza di queste strutture, mettendo a disposizione incentivi fiscali destinati alla prevenzione e alla valutazione sismica del patrimonio edilizio esistente.

Per regolamentare la fruizione di tali incentivi è nata la necessità di introdurre uno strumento apposito che ne definisse termini e modalità di uso.

Queste esigenze sono la conseguenza diretta degli effetti dei recenti episodi sismici, computabili sia in termini di costi sociali, come il numero elevato di perdite di vite umane e il forte disagio creatosi nella vita di intere comunità dopo il sisma, che in termini di costi economici per lo stato di emergenza creatosi e la necessità di ricostruzione. [2]

“Negli ultimi 50 anni si valutano circa 5.000 vittime e una spesa annua media di circa tre miliardi di euro per emergenza e ricostruzione, a causa della nota sismicità del Paese, e della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio presente”¹.

A fronte di tali problematiche la Legge di Stabilità 2017, approvata il 21 dicembre 2016, ha reso il Sisma Bonus *“un piano volontario dei cittadini, con forti incentivi statali, di valutazione e prevenzione nazionale del rischio sismico degli edifici.”*² [2]

Il Sisma Bonus viene attuato per mezzo del “Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti” numero 58 del 28 febbraio 2017.

In allegato al Decreto è stato introdotto un metodo per la classificazione sismica degli edifici privati e produttivi, le “Linee Guida per la classificazione di rischio sismico delle costruzioni” e le direttive per attestare l'efficacia degli interventi da parte di professionisti abilitati.

Il Decreto, con le Linee Guida allegate, è entrato in vigore dal 1° marzo 2017, mentre l'articolo 3 e gli allegati sono stati aggiornati con il Decreto Ministeriale numero 65 del 7 marzo 2017.

Con le Linee Guida sono state introdotte alcune novità, tra cui l'unione in un unico parametro di due aspetti fondamentali nella classificazione del patrimonio edilizio

¹ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Al via la classificazione del Rischio Sismico per prevenzione, <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/linee-guida>;

² Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Classi Rischio Sismico e Sismabonus-slide, <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-58-del-28022017>.

esistente: la sicurezza delle vite umane e la stima delle perdite economiche e dei costi sociali.

In questo modo è possibile attribuire ad una struttura una delle otto classi di rischio sismico, dalla A+, classe a meno rischio, alla classe G, classe a più rischio, mediante un unico parametro che consideri simultaneamente le due problematiche principali nella prevenzione sismica.

Un altro punto importante è l'estensione del Sisma Bonus alla Zona Sismica 3, comprendendo nel rischio sismico una grande percentuale del territorio nazionale.

L'individuazione delle zone sismiche in Italia è stata definita nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata successivamente con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006, e approfondita localmente con specifiche Deliberazioni Regionali.

La mappa di pericolosità sismica, definita dalla suddetta Ordinanza, prevede la suddivisione dell'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche, sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g su suolo rigido, che ha una probabilità di essere superata del 10% nell'arco di 50 anni. [3]

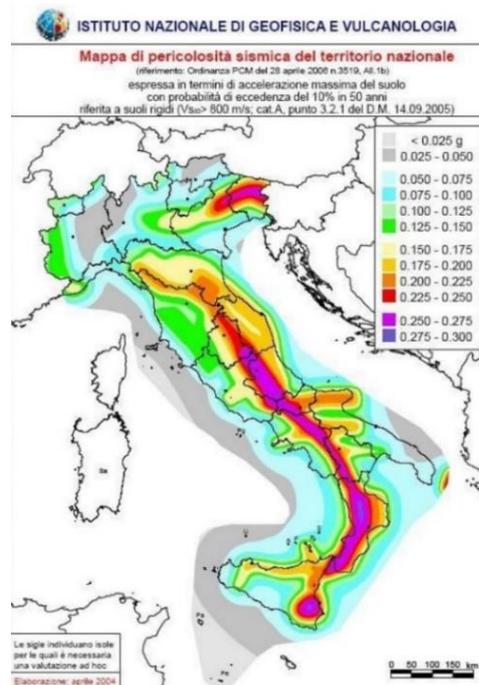


Figura 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.³ [3]

L'estensione dell'applicazione del Sisma Bonus alla Zona Sismica 3 favorisce l'agevolazione fiscale anche al patrimonio edilizio soggetto ad un minor rischio sismico. È il caso della struttura oggetto di studio, sito a Genova Sturla. Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006, aggiornata con le Deliberazioni della Giunta Regionale della Liguria n.1362 del 19 novembre 2010 e

³ http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/84perc.html, Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia

successivamente con la n.216 del 17 marzo 2017, il territorio di Genova rientra nella Zona Sismica 3, “Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari”⁴ per cui $0,05 < a_g < 0,15$ g. [4]

L'estensione del Sisma Bonus alla Zona 3 ha quindi permesso l'applicazione di tale strumento all'edificio che verrà analizzato nel seguito, con la finalità di migliorare la capacità della struttura sfruttando le detrazioni fiscali previste.

La verifica della struttura esistente verrà eseguita in riferimento al D.M. “Norme Tecniche per le Costruzioni” 17.01.2018 e alla Circolare Ministeriale 21 gennaio 2019, n. 7 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

1.3. OBIETTIVI

L'obiettivo principale della Tesi è quello di progettare gli interventi necessari per incrementare il livello di Classe di Rischio Sismico della struttura esistente, e ottenere la percentuale di detrazione fiscale corrisposta mediante il Sisma Bonus.

Nello specifico verranno confrontate le Classi di Rischio raggiunte adottando due diverse tipologie di intervento, per valutare quale risulta più idonea al caso studio: in un caso la struttura verrà adeguata sismicamente, mentre nell'altro verrà migliorata sismicamente. L'intento è anche quello di capire l'efficacia del Sisma Bonus sull'edificio studiato, che è risalente ai primi '90 e quindi non progettato considerando la presenza di azioni sismiche, ed è collocato in Zona Sismica 3, una zona che precedentemente non era oggetto di questo strumento.

Il risultato dello studio che verrà condotto deve portare ad una valutazione d'insieme, di cui la percentuale di detrazione rappresenta una parte importante dell'esito complessivo ottenuto. Le considerazioni tecniche a seguito di tutto lo studio dovranno giustificare la richiesta di applicazione di un tale strumento.

Tra gli altri obiettivi si evidenzia inoltre quello di valutare la difformità della struttura esistente rispetto alla struttura che sarebbe realizzata ad oggi secondo la Normativa attuale, calcolando il Grado di Difformità (GD), per poi valutare il livello di sicurezza corrispondente correlando il Grado di Difformità con l'Indice di Sicurezza (IS-V). L'IS-V permette di quantificare in termini di percentuale di armatura il divario tra struttura allo stato di fatto, e la stessa struttura progettata secondo le Norme vigenti.

Tra le varie finalità vi è anche quella di svolgere uno studio qualitativo sul comportamento della struttura, andando a stimare la variazione della percentuale di armatura, e il relazionato Indice di Sicurezza, valutando di quanto cambia effettivamente il Grado di Difformità con la variazione della quantità di armatura nella struttura.

⁴ <https://www.tuttitalia.it/liguria/45-genova/rischio-sismico/>, Rischio Sismico di Genova

CAPITOLO 2 – LE STRUTTURE ESISTENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Le Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, trattano le costruzioni esistenti al Capitolo 8, ed in particolare, al Paragrafo 8.1., definiscono costruzione esistente “*quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o progetto di intervento, la struttura completamente realizzata*”.⁵ [5]

Il patrimonio edilizio esistente su territorio nazionale comprende un numero elevato di costruzioni in calcestruzzo armato che rispettano standard progettuali superati, relativi alle Normative vigenti all'epoca della costruzione.

La Normativa in ambito sismico in Italia si è difatti molto evoluta negli anni, mentre è intuibile che la maggior parte dei fabbricati esistenti in c.a. non tiene conto dei concetti di duttilità e di Gerarchia delle Resistenze, è stata calcolata prescindendo dalla presenza di azioni orizzontali, e con un approccio che non prevedeva il metodo semiprobabilistico agli stati limite odierno.

Questi concetti sono stati introdotti solo successivamente all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM n-3274 del 20 marzo 2003, che ha introdotto due stati limite, lo stato limite di danno e lo stato limite ultimo, la differenziazione nella resistenza dei diversi elementi strutturali e il concetto di deformazioni in campo plastico. [1]

Allo stesso tempo ad oggi la classificazione sismica del territorio italiano si discosta molto da quella passata; molte zone sono diventate sismiche solo negli ultimi anni, di conseguenza il problema della vulnerabilità sismica si è esteso a gran parte del patrimonio edilizio nazionale, comportando la necessità di approcciarsi diversamente. Solo dal 2003, con la suddetta OPCM, è stata introdotta la Zona Sismica 4, valutando tutto il territorio nazionale come sismico; questa suddivisione in zone sismiche è funzione degli intervalli di accelerazione di picco orizzontale al suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi.

Dal 2008, con le Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14.01.2008, la classificazione sismica di un luogo si basa sull'accelerazione del sito interessato dall'intervento, individuata con le coordinate geografiche, e dipendente dalla classe d'uso e dalla vita nominale dell'opera. [1]

⁵ Capitolo 8, Paragrafo 8.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

A fronte di tali considerazioni, può nascere la necessità di valutare la sicurezza di una costruzione esistente, e quindi l'esigenza di progettare interventi locali, di miglioramento o di adeguamento. [5]

La valutazione della sicurezza viene effettuata con i metodi di verifica allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite di Esercizio secondo le NTC2018, ed è richiesta nei casi in cui la struttura abbia subito azioni ambientali o azioni eccezionali, presenti difetti strutturali o costruttivi insiti nella conformazione attuale, subisca una variazione di carichi verticali a causa di cambi di destinazione d'uso, o vengano fatti interventi strutturali o non strutturali, che potrebbero alterare l'equilibrio della struttura. [1]

A tal proposito è indispensabile lo studio approfondito dello stato di fatto di un edificio esistente, al fine di ottenere il maggior numero possibile di informazioni su struttura portante, elementi strutturali e non, evoluzione nel tempo, azioni che può aver subito nella sua storia, e materiali di cui è composto, e conseguire un livello di conoscenza accettabile.

Nella valutazione della sicurezza è necessario tenere conto di molti fattori, tra cui il fatto che le strutture esistenti sono frutto della conoscenza dell'epoca in cui sono state costruite. Una struttura esistente inoltre può riportare e non manifestare esplicitamente difetti di progettazione e di realizzazione.

Con questo procedimento di valutazione la finalità è quella di stabilire le azioni che la struttura riesce a sostenere, garantendo un livello di sicurezza minimo definito secondo le Norme Tecniche vigenti.

Valutata la sicurezza della struttura esistente, e appurata la necessità di intervenire con opere di intervento idonee al caso, seguono i passaggi che conducono ad un corretto progetto dell'intervento su una struttura esistente in calcestruzzo armato, prescritti dalle Norme Tecniche 2018 e che consistono sostanzialmente nei seguenti punti:

- Definizione di un modello numerico che rappresenti la condizione allo stato di fatto;
- Analisi strutturale dello stato attuale;
- Progetto degli interventi. [6]

2.1. DEFINIZIONE DEL MODELLO RAPPRESENTATIVO DELLO STATO ATTUALE

Per definire un modello numerico rappresentativo dello stato di fatto della struttura in esame, *“dovranno risultare conoscibili, con un livello di approfondimento che dipende dalla documentazione disponibile e dalla qualità ed estensione delle indagini che vengono svolte, le caratteristiche che seguono:*

- *la geometria e i particolari costruttivi;*
- *le proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni;*
- *i carichi permanenti.”*⁶

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17.01.2018 *“ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato”*⁷.

A seguito di un’analisi storica, mirata a ricostruire la storia progettuale e costruttiva del fabbricato, e ad indagare eventuali precedenti eventi sismici che si sono verificati nel corso della vita dell’edificio, segue la fase del rilievo geometrico, che consiste nella ricostruzione della geometria del fabbricato, degli elementi strutturali e del sistema resistente effettivo della struttura, a partire da disegni costruttivi originali, oppure mediante rilievo.

Un’altra fase molto importante per arrivare a definire un modello che più si avvicini alla realtà, è la caratterizzazione meccanica dei materiali, mediante l’esecuzione di prove sperimentali in sito o in laboratorio su provini estratti, qualora la documentazione originale non sia presente o non sia affidabile.

Le caratteristiche meccaniche dei materiali possono essere ricavate con prove di tipo distruttivo o con prove di tipo non distruttivo; le prove devono fornire valori significativi per la struttura in termini di omogeneità, qualità, resistenza meccanica e degrado.

Nel caso di prove distruttive, gli elementi da testare devono essere scelti per arrecare il minor danno possibile, pur essendo rappresentativi dell’intera struttura.

In funzione delle informazioni reperibili sui dettagli strutturali e sulle proprietà dei materiali, vengono individuati nella Normativa tre livelli di conoscenza (LC) distinti a seconda dell’approfondimento raggiunto: dal LC1, conoscenza limitata, al LC2 che

⁶ Capitolo 8, Paragrafo 8.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

⁷ Capitolo 8, Paragrafo 8.5.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

corrisponde ad una conoscenza adeguata e infine il LC3, che si raggiunge con una conoscenza accurata. [5]

A seconda del livello di conoscenza conseguito sulla struttura sono ammessi diversi metodi di analisi; per il livello di conoscenza 1 sono permesse solo le Analisi lineari, mentre per gli altri due livelli sono ammesse tutti i metodi proposti dalla Normativa; ad ogni livello di conoscenza corrisponde un fattore di confidenza per edifici in calcestruzzo armato.

Per quanto riguarda le azioni e le combinazioni da considerare nel calcolo al fine di eseguire le analisi prestabilite per la valutazione della sicurezza, e poi per l'analisi a seguito dell'intervento, viene fatto riferimento alla Normativa vigente.

Si può desumere quindi che dopo le fasi di analisi storico-critica, rilievo geometrico-strutturale e caratterizzazione meccanica dei materiali, [1] viene stabilito il livello di conoscenza della struttura, ed è possibile procedere con la definizione di un modello numerico che rappresenti il comportamento del fabbricato allo stato di fatto, con l'ausilio di Software di Calcolo Strutturale idonei, al fine di svolgere le analisi sulla struttura.

2.2. ANALISI DELLO STATO ATTUALE

La modellazione strutturale deve essere il più fedele possibile allo stato reale, con l'obiettivo di analizzare lo stato di fatto della struttura, effettuando un'analisi strutturale dell'edificio secondo uno dei metodi previsti dalla Normativa in vigore (Analisi Lineare o Non Lineare, Statica o Dinamica) per poi verificare che l'edificio esistente rispetti le prescrizioni imposte dalla Norma, e valutare quindi la necessità di un intervento.

Le verifiche dovranno permettere di stabilire i provvedimenti da applicare al fine di soddisfare le richieste di sicurezza previste dalle attuali Norme Tecniche.

Le analisi condotte, come detto, sono funzione del livello di conoscenza acquisito sulla struttura, e sono finalizzate a valutare il comportamento globale del fabbricato su un modello che deve avvicinarsi il più possibile al caso reale.

Le analisi strutturali verranno ripetute sulla struttura opportunamente adeguata, in modo tale da considerarne il comportamento a seguito degli interventi di miglioramento o di adeguamento sismico svolti, o confrontare entrambi gli interventi per ottenere considerazioni a riguardo.

2.3. PROGETTO DEGLI INTERVENTI

Le Norme Tecniche 2018 individuano tre tipologie di interventi possibili sulla struttura: interventi locali, interventi di miglioramento e interventi di adeguamento.

Gli interventi locali non modificano il comportamento globale della struttura, ma riguardano piuttosto la messa in sicurezza di alcuni elementi strutturali di essa o di una parte della costruzione. Per questi interventi non è richiesta la valutazione della sicurezza globale della struttura, ad ogni modo, nel momento in cui vengono adottati sulla struttura gli altri tipi di intervento in concomitanza con quelli locali, questi ultimi possono rientrare nell'incremento della sicurezza della struttura nel suo comportamento globale.

Con gli interventi di miglioramento l'obiettivo è quello di aumentare il livello di sicurezza della struttura, senza l'obbligatorietà di raggiungere gli standard imposti dalle Norme vigenti.

Gli interventi di adeguamento infine pongono l'obiettivo di raggiungere i livelli di sicurezza imposti dalle Norme Tecniche vigenti, come una costruzione di nuova costruzione.

Gli interventi di miglioramento o di adeguamento sismico adottati nei confronti delle azioni sismiche sono valutati secondo il parametro ζ_E , definito in termini di accelerazione di picco al suolo; questo è dato dal rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura allo stato di fatto, Peak Ground Acceleration di capacità (PGA_C), e l'azione sismica massima che verrebbe utilizzata in un edificio di nuova costruzione collocata nel solito sito, Peak Ground Acceleration di domanda (PGA_D).

Se gli interventi di miglioramento o di adeguamento non riguardano le azioni sismiche, viene introdotto il parametro ζ_{vit} , ovvero il rapporto tra il valore massimo del carico verticale che la parte i -esima della struttura riesce a sopportare, e il valore del sovraccarico verticale usato per progettare una nuova costruzione. [5]

In definitiva, i parametri ζ vengono calcolati per valutare la sicurezza dell'edificio allo stato di fatto, e poi vengono fissati nel rispetto dei limiti imposti dalle NTC 2018, a seconda del livello di sicurezza che si vuole assumere per la struttura dopo gli interventi di adeguamento o di miglioramento.

Il livello di sicurezza di una struttura è quindi funzione di quello richiesto per le nuove costruzioni.

Nei confronti delle combinazioni sismiche, qualora vengano effettuati interventi di miglioramento il parametro ζ_E può essere inferiore a 1, e varia in funzione della classe

d'uso della struttura considerata; per edifici di classe d'uso II questo valore deve essere incrementato di almeno il 10% rispetto allo stato di fatto. [7]

Gli interventi di adeguamento svolti nei confronti delle azioni sismiche generalmente prevedono che venga assunto ζ_E unitario, salvo le prescrizioni di Normativa.

La finalità degli interventi per definire la Classe di Rischio sismico è quello modificare il comportamento globale della struttura; l'analisi sismica globale prevede l'utilizzo di quei metodi di analisi che consentono di valutare in maniera appropriata sia la resistenza sia la duttilità della struttura allo stato di attuale.

Quando la struttura non sostiene le azioni previste dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 si possono creare nuovi elementi che resistano al sisma, che permettono di attribuire agli elementi strutturali presenti il solo carico verticale.

Per progettare un intervento di miglioramento o di adeguamento sismico, a seguito dell'individuazione delle carenze dell'edificio, valutate con analisi allo Stato Limite Ultimo, vengono scelti la tipologia dell'opera e i materiali, dimensionati i nuovi elementi e svolte le analisi strutturali nella nuova conformazione dell'edificio; qualora le verifiche della struttura post-intervento siano soddisfatte, si procede infine determinando il livello di sicurezza raggiunto.

CAPITOLO 3 – IL SISMA BONUS

A fronte della storia sismica del Paese e dei molteplici eventi sismici di grave entità degli ultimi decenni, si è fatta sempre più urgente la necessità di promuovere la prevenzione e valutazione sismica del patrimonio edilizio.

A tal fine con la Legge di Stabilità 2017 è stato introdotto un piano che facilitasse l'azione dei privati nei confronti del rischio sismico delle strutture esistenti, prevedendo detrazioni fiscali cospicue, quale il Sisma Bonus. [2]

Lo strumento attuativo è il Decreto Ministeriale numero 58 del 28 febbraio 2017 [8], che riporta in allegato le “Linee Guida per la classificazione di rischio sismico delle costruzioni”, con cui sono indicate ai professionisti abilitati le modalità con cui procedere per valutare la Classe di Rischio Sismico di una struttura esistente, e le regole a cui attenersi per assegnare il Sisma Bonus, ovvero gli incentivi fiscali attribuiti a seguito degli interventi adottati. [1]

Il DM n.58 del 28 febbraio 2017, entrato in vigore il 1° marzo 2017, è stato parzialmente modificato dopo pochi giorni dal Decreto Ministeriale numero 65 del 7 marzo 2017, che ha apportato alcune correzioni all'articolo 3 e agli allegati. [9]

“Le Linee Guida forniscono lo strumento di regolamentazione degli incentivi fiscali, legati alla misura del cosiddetto Sisma Bonus, con uno specifico riferimento all'edilizia privata e produttiva, costituendo il primo strumento di attivazione di una concreta politica di Prevenzione Sismica del patrimonio edilizio abitativo e produttivo del Paese.”⁸

Con l'introduzione delle Linee Guida l'intento è stato quello di promuovere la prevenzione sismica su costruzioni esistenti private, favorendo il beneficio di incentivi fiscali a cui accedere senza graduatorie.

Come già accennato nel Capitolo 1, tale strumento introduce un nuovo metodo per la individuazione del Rischio Sismico delle costruzioni esistenti, coniugando l'aspetto di salvaguardia della vita con i costi sociali ed economici.

La salvaguardia delle vie umane è associata ai livelli di sicurezza previsti dalle NTC 2018, mentre le perdite economiche e sociali sono valutate basandosi su stime che fanno riferimento al sisma del 2009 in Abruzzo. [2]

⁸Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Classi Rischio Sismico e Sismabonus-slide, <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-58-del-28022017>

Con Rischio Sismico si intende l'unità di misura per classificare gli edifici e mettere in atto la prevenzione sismica.

Esso permette di valutare il danno atteso provocato da avvenimenti sismici, ed è valutato come l'interazione dei fattori che seguono:

$$\text{“Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Esposizione”}^9$$

Con pericolosità si intende la probabilità che si verifichi un sisma, ovvero il terremoto atteso, la causa del rischio sismico; questo concetto è connesso all'individuazione delle quattro zone sismiche in Italia, definite nella mappa di pericolosità sismica a livello nazionale, riportata nel Capitolo 1 di introduzione, e di cui sono date indicazioni più approfondite a livello regionale.

Con il concetto di vulnerabilità si intende la valutazione degli effetti sulle costruzioni a seguito di eventi sismici, e quindi della capacità di un edificio, intesa come la tenuta di una struttura a fronte di un evento sismico.

L'esposizione è definita come la stima socio/economica delle conseguenze di un sisma, dipendente dai contesti delle comunità. [2]

Nella pericolosità si individua la causa, di cui la vulnerabilità rappresenta l'effetto, e l'esposizione la conseguenza.

Con le Linee Guida è possibile definire la Classe di Rischio Sismico di un fabbricato, che va da A+, ovvero la classe a meno rischio, fino alla classe G, a più rischio; le classi sono dunque otto, A+, A, B, C, D, E, F, G, e rappresentano una valutazione della struttura in termini di sicurezza e di aspetti economici.

Al fine di determinare la Classe di Rischio Sismico di un edificio e accedere agli incentivi fiscali, ovvero il Sisma Bonus, le Linee Guida introducono i seguenti due metodi:

- Metodo convenzionale;
- Metodo semplificato.

Il metodo convenzionale può essere applicato a qualsiasi tipo di costruzione, si basa sulle metodologie di analisi proposte dalle Norme Tecniche per le Costruzioni in vigore, permette di valutare la Classe di Rischio dell'opera allo stato di fatto e dopo l'intervento di prevenzione sismica, e consente di migliorare la classe di un edificio da uno a più livelli.

⁹Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Classi Rischio Sismico e Sismabonus-slide, <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-58-del-28022017>

Tale metodo è considerato “*il necessario riferimento omogeneo e convenzionale*”,¹⁰ [10] e quindi il più attendibile e coerente nella stima della classe della costruzione allo stato di fatto e dopo l'intervento.

Il metodo semplificato è un metodo più speditivo per valutare la classe di rischio di soli edifici realizzati in muratura; la stima condotta con l'utilizzo di tale metodo può essere ritenuta attendibile ma non sempre coerente con il calcolo fatto utilizzando il metodo convenzionale.

Nella presente Tesi il fabbricato, in calcestruzzo armato, viene studiato con l'approccio dettato dal metodo convenzionale sia prima che dopo la progettazione degli interventi sismici.

Dal 2017 il Sisma Bonus è stato esteso alla Zona Sismica 3, comprendendo la maggior percentuale del territorio nazionale; lo strumento inoltre è stato stabilizzato a 5 anni, fino al 31 dicembre 2021.

Tra le altre novità introdotte, vi è l'estensione degli incentivi a edifici residenziali, seconde case e attività produttive, mentre le detrazioni saranno corrisposte in 5 anni e non più 10. La quantificazione delle detrazioni per la prevenzione sismica di un edificio è proporzionale all'efficacia dell'intervento svolto e dipende dalla destinazione d'uso e dal numero di classi migliorate a seguito dell'intervento; se il fabbricato migliora di due classi di rischio sismico piuttosto che una le detrazioni corrisposte sono maggiori. [2]

Nel caso di abitazioni, sia che siano prime o seconde case, ed edifici produttivi la detrazione ammonta al 70% nel caso in cui l'incremento è di una classe di rischio, mentre è dell'80% se l'incremento è di due classi.

Nel caso di condomini la detrazione va dal 75% all'85%, qualora i livelli di classe incrementati siano uno o due.

Le detrazioni devono tenere conto che l'ammontare delle spese non sia superiore a 96000 euro per ciascuna delle unità immobiliari di ogni edificio.

Il Sisma Bonus è stato rafforzato anche sul fronte della possibilità della cessione del credito a terzi, ove non vi sia la possibilità di sostenere le spese. [2]

Nel Decreto è specificata la modalità con cui è possibile accedere ai benefici fiscali: dopo che il proprietario di una costruzione esistente ha incaricato un professionista abilitato per la valutazione della Classe di Rischio Sismico in vista di un intervento sulla struttura, il professionista deve analizzare l'edificio secondo le Norme Tecniche vigenti, e progettare gli interventi ritenuti più idonei per ridurre la pericolosità sismica della struttura.

Alla fine della prima fase viene determinata la Classe di Rischio Sismico raggiunta post-intervento, valutando l'efficacia dell'opera; il proprietario quindi procede con i

¹⁰ Decreto Ministeriale 65, 07-03-2017, Allegato A, “Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni”.

pagamenti delle fatture ricevute. La conformità del progetto viene poi attestata dal direttore dei lavori e dal collaudatore. Al termine dell'iter, ove vi sia stata cessione del credito, segue il provvedimento dell'Agenzia delle Entrate. [2]

Il Decreto stabilisce infine l'istituzione di una Commissione permanente di monitoraggio che abbia l'incarico di valutare l'efficacia dell'intervento di prevenzione sismica sul patrimonio edilizio.

Le Linee Guida risultano essere uno strumento semplice da comprendere, agevole ed efficace, la cui interpretazione non richiede strumenti diversi dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

3.1. ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI RISCHIO

La valutazione della classe di rischio una struttura, tra le otto individuate dalla classificazione sismica, viene determinata a seguito del calcolo di due parametri:

- La Perdita Annuale Media attesa (PAM), inteso come il parametro che considera la perdita economica associata ai danni provocati agli elementi strutturali e non strutturali dell'edificio; questo può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dalle azioni sismiche nella vita della costruzione, ripartito annualmente e valutato come percentuale del costo di ricostruzione (CR) dell'edificio;
- L'Indice di Sicurezza (IS-V) della struttura, definito come il rapporto tra la capacità espressa in PGA, la PGA_C , vale a dire l'accelerazione di picco al suolo (PGA, Peak Ground Acceleration) che stabilisce il raggiungimento dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), e la domanda in PGA, la PGA_D , che viene indicata nella Normativa nel luogo in cui è ubicata la costruzione e per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, come riferimento per la progettazione di un nuovo edificio. Tale indice viene più comunemente indicato nel linguaggio tecnico come Indice di Rischio. [10]

Per la determinazione della Classe di Rischio di un edificio, in entrambi i metodi riportati nelle Linee Guida, il metodo convenzionale e il metodo semplificato, viene fatto riferimento al parametro PAM.

Per il calcolo della PAM viene ricostruita la curva delle perdite economiche per la struttura oggetto di studio; la curva nelle immagini che seguono è stata costruita facendo riferimento ad una costruzione di classe d'uso II, con una vita nominale di 50 anni (nella seconda immagine riporta la curva in scala logaritmica per una maggiore leggibilità).

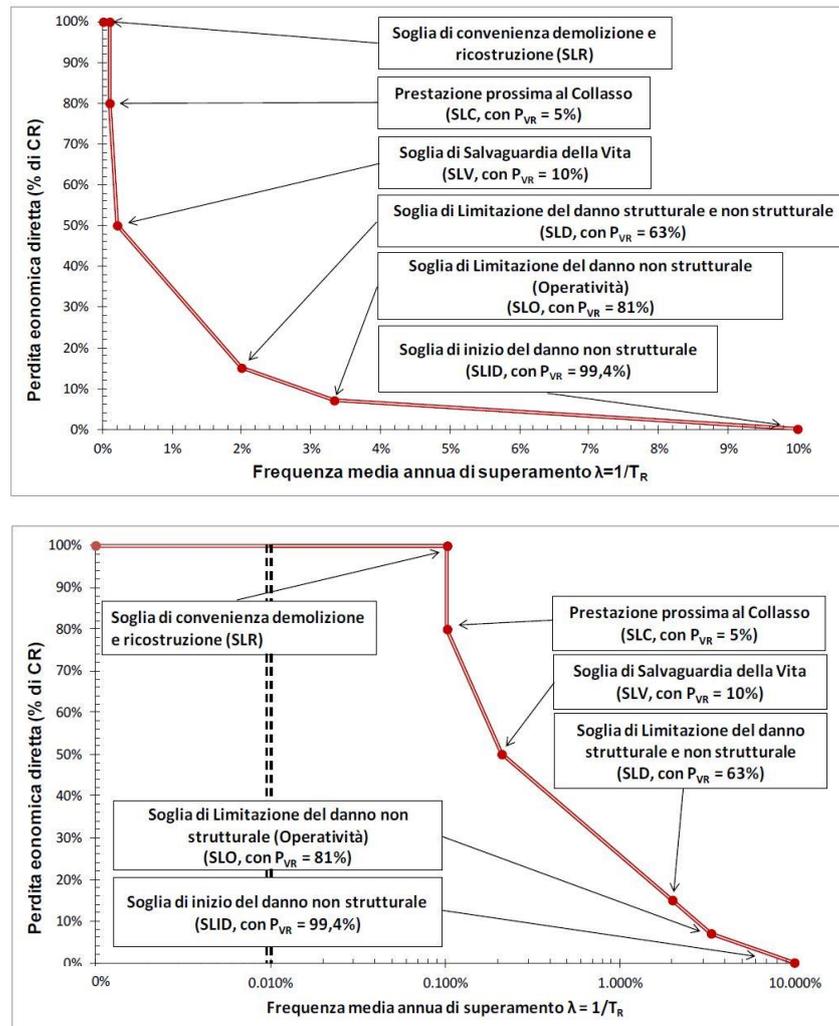


Figura 2 – Andamento della curva che individua la PAM.¹¹ [10]

Tale curva, opportunamente discretizzata, si ottiene riportando sulle ascisse la frequenza media annua di superamento λ , calcolata come l'inverso del periodo di ritorno del sisma, e sulle ordinate le percentuali del costo di ricostruzione CR associate ai vari stati limite.

¹¹ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, "Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

3.2. IL METODO CONVENZIONALE

Nel metodo convenzionale la determinazione della Classe di Rischio della costruzione oggetto dello studio avviene confrontando entrambi i parametri introdotti nel paragrafo precedente: la Perdita Annua Media Attesa (PAM) e l'Indice di Sicurezza (IS-V).

Con la finalità di calcolare questi due valori nel presente metodo, devono essere calcolate le quattro accelerazioni di picco al suolo per cui vengono raggiunti i quattro stati limite indicati in Normativa (SLV, SLD, SLO e SLC), facendo riferimento al sito in cui sorge la costruzione in esame, e utilizzando i metodi di analisi e verifica previsti dalle NTC 2018.

Per individuare la Classe PAM di appartenenza della struttura in esame, viene fatto riferimento ai limiti riportati nella tabella che segue:

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Tabella 1– Attribuzione della Classe di Rischio PAM in funzione dell'entità delle Perdite medie annue attese.¹²

In modo analogo, le Linee Guida riportano la tabella con i valori di riferimento per individuare la Classe IS-V dell'edificio:

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 100\%$	A_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 80\%$	B_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 60\%$	C_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 45\%$	D_{IS-V}
$15\% \leq IS-V < 30\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

Tabella 2 – Attribuzione della Classe di Rischio IS-V in funzione dell'entità dell'Indice di Sicurezza.¹³

¹² Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, “Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

¹³ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, “Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

Le Linee Guida indicano che è necessario valutare il comportamento globale della struttura, al fine di attribuire la Classe di Rischio Sismico, anche qualora vengano fatti interventi di tipo locale.

Non è obbligatorio verificare sismicamente tutti e quattro gli stati limite, difatti in via semplificata possono essere omesse le verifiche per lo Stato Limite di Operatività e per lo Stato Limite di Collasso, le cui frequenze sono ricavabili rispettivamente dallo Stato Limite di Danno e dallo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

$$\begin{aligned} \lambda_{SLO} &= 1,67 \cdot \lambda_{SLD} \\ \lambda_{SLC} &= 0,49 \cdot \lambda_{SLV} \end{aligned} \text{''}^{14}$$

Una volta analizzata la struttura, determinando i valori delle accelerazioni massime al suolo di capacità della struttura, PGA_C per lo SLV e lo SLD, vengono calcolati i corrispondenti periodi di ritorno di capacità T_{RC} , associati ai terremoti che generano tali accelerazioni, eventualmente calcolabili con la seguente relazione:

$$T_{RC} = T_{RD} (PGA_C / PGA_D)^\eta \text{''}^{15}$$

dove η può essere calcolato specificatamente al luogo in cui è collocata la costruzione, oppure può essere assunto $\eta=1/0,41$ come media del territorio italiano.

Per la determinazione del tempo di ritorno T_{RC} associato al raggiungimento degli stati limite di esercizio, SLD ed SLO, è necessario assumere il valore minore tra quello ottenuto per tali stati limite e quello valutato per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

Per ogni periodo trovato, viene calcolata la relativa frequenza media annua di superamento $\lambda = 1 / T_{RC}$.

Per lo Stato Limite di Inizio Danno (SLID), si assume che per costruzioni post-interventi corrisponda a quello a cui è associabile un periodo di ritorno pari a 10 anni, tale che $\lambda_{SLID} = 1 / T_{RC \text{ SLID}} = 0,1$; nel caso di costruzioni esistenti si assume una probabilità di superamento molto elevata, $P_{VR}=99,4\%$, a cui corrisponde una frequenza di circa tre volte quella dello Stato Limite di Operatività $\lambda_{SLID} = 3 \cdot \lambda_{SLO}$.

Per ciascuno degli stati limite considerati si associa al corrispondente valore di λ il valore della percentuale di costo di ricostruzione secondo la tabella che segue, ed è così possibile ricavare la curva delle perdite economiche. [10]

¹⁴ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, “Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

¹⁵ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, “Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

Tabella 3 – Percentuale del costo di ricostruzione (CR), associata al raggiungimento di ciascuno stato limite.¹⁶

Il parametro PAM, espresso in percentuale, viene valutato come l'area sottesa alla curva individuata dalle coppie di punti (λ , CR) per i quattro stati limite, a cui viene aggiunto il punto limite di coordinate ($\lambda=0$, CR=100%).

L'espressione usata per il calcolo della PAM è riportata nelle Linee Guida, ed è la seguente:

$$PAM = \sum_i [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * CR(SLR) \text{ }^{17}$$

Dove

“i” è l'indice indicativo dello stato limite considerato (con i=5 per lo SLC e i=1 per lo SLID).

Calcolata la PAM, viene valutata la Classe di Rischio Sismico usando la tabella che associa le diverse classi agli intervalli dei valori assunto dal parametro PAM.

Si procede con la determinazione del secondo parametro, l'Indice di Sicurezza IS-V dal rapporto che segue, allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

$$IS-V = PGA_C / PGA_D [\%]$$

Tale rapporto può essere anche inteso come la capacità di resistenza della struttura esistente e la resistenza necessaria per resistere all'azione sismica caratteristica del sito analizzato.

La Classe di Rischio della costruzione è definita dalla classe peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V. [10]

¹⁶ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, “Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

¹⁷ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, “Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

3.3. IL METODO SEMPLIFICATO

Nel caso di costruzioni in muratura, è possibile valutare il rischio sismico utilizzando il metodo semplificato. Vengono riportati i punti salienti di tale metodo, con la finalità di confronto con il metodo convenzionale.

Questo si basa su una classificazione macrosismica dell'edificio, ed è indicato nel caso in cui sia necessaria una valutazione più snella e speditiva della Classe di Rischio dei soli edifici in muratura, infatti può essere utilizzato per una valutazione preliminare indicativa, o per valutare la Classe di Rischio in relazione all'adozione di interventi di tipo locale. [10]

Nello specifico si determina, sulla base delle caratteristiche della costruzione, la Classe di Rischio di appartenenza a partire dalla classe di vulnerabilità definita dalla Scala Macrosismica Europea (EMS).

Nell'EMS per le 7 tipologie di edifici in muratura identificati, viene fissata la vulnerabilità media di ciascuna, ipotizzando su una scala di 6 classi di vulnerabilità ($v_1 \dots v_6$ in ordine di crescente vulnerabilità) quella più attendibile, indicata con un cerchio, e la dispersione attorno a tale valore, indicando con una linea continua il valore più probabile, e con una linea tratteggiata quello meno attendibile, come indicato nella tabella che segue.

Tipologia di struttura		Classe di vulnerabilità					
		V ₆ (=A _{EMS})	V ₅ (=B _{EMS})	V ₄ (=C _{EMS})	V ₃ (=D _{EMS})	V ₂ (=E _{EMS})	V ₁ (=F _{EMS})
MURATURA	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○	—				
	Muratura di pietra sbozzata		—○				
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali			—○	—		
	Muratura di mattoni e pietra lavorata		—○	—			
	Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata			—○	—		
	Muratura rinforzata e/o confinata				—○	—	

Figura 3— Scala Macrosismica Europea (EMS).¹⁸

La riconduzione ad una Classe di Rischio, contrassegnate con il simbolo asterisco per distinguerle dal metodo convenzionale, avviene mediante la correlazione tra la classe di vulnerabilità trovata, messa in relazione con la zona sismica di appartenenza dell'edificio in esame, con l'ausilio della tabella relativa.

¹⁸ Decreto Ministeriale 65, 7 marzo 2017, "Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e i relativi allegati.

3.4. OBIETTIVO DELLO STRUMENTO

L'obiettivo dello strumento visto, introdotto con il Decreto Ministeriale numero 58 del 28-02-2017 è quello di valutare sismicamente una struttura esistente, e prevenire gli effetti del sisma riducendo la Classe di Rischio a cui appartiene la struttura esistente, con la progettazione degli opportuni interventi. Questo prevede quindi di operare sui due parametri che caratterizzano la classificazione di un edificio in ambito sismico: parametro PAM e sull'indice IS-V, riferiti rispettivamente ad una valutazione di tipo economica e ad una valutazione in termini di sicurezza della vita. Le misure che verranno prese sull'edificio possono interessare sia gli elementi strutturali che quelli non strutturali, a seconda delle necessità e delle problematiche legate al fabbricato.

Nel presente caso studio verrà applicato il metodo convenzionale, poiché la struttura è realizzata in calcestruzzo armato.

Con questo metodo viene studiato, nella conformazione prima e dopo gli interventi, il comportamento globale della struttura; al fine di valutare la Classe di Rischio dello stato di fatto, e quella raggiunta post-intervento, deve essere fatta in ogni caso la verifica globale, rimuovendo le cause che potrebbero innescare meccanismi locali.

CAPITOLO 4 – IL CASO STUDIO

4.1. COLLOCAZIONE DELL’OPERA

La struttura oggetto di studio è ubicata a Genova Sturla, in Via Isonzo 6, ed è proprietà della Società “Bruschettini S.r.l.”, Industria Farmaceutica che ha sede adiacente alla struttura in esame.

L’edificio è stato progettato per la destinazione d’uso di parcheggio distribuito su due livelli, ovvero al primo e al secondo piano.

Il fabbricato è stato realizzato in calcestruzzo armato tra il 1992 e il 1994 su Progetto e Calcolo Strutturale del Prof. Ing. Luciano Mascia.

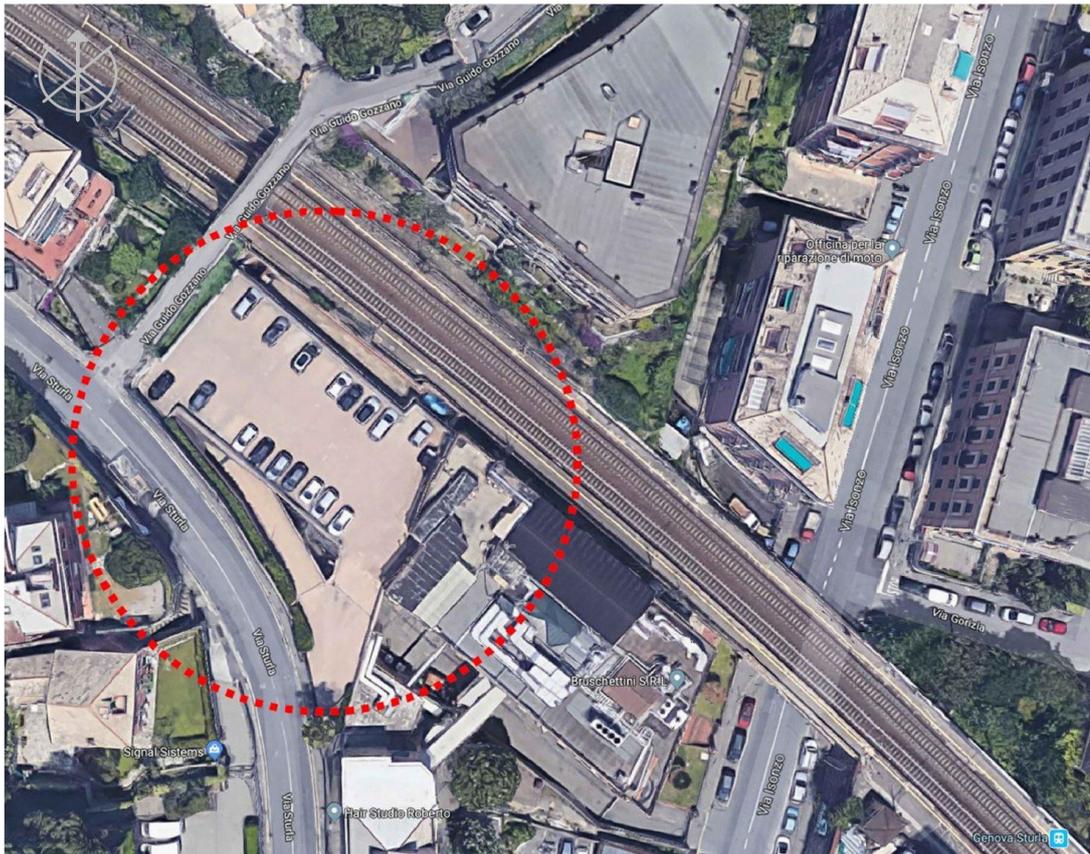


Figura 4 – Inquadramento planimetrico del fabbricato oggetto di studio.

4.2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'edificio è composto da un piano terra, a quota 21,05 metri slm, ad oggi utilizzato come magazzino per il fabbricato adiacente, e da due piani superiori, con destinazione d'uso di parcheggio a servizio del fabbricato adiacente, rispettivamente a quota 25,30 metri slm e 29,20 m slm. Al grezzo i due solai sono rispettivamente a quota 25,10 m e a quota 29,00 m.

La struttura è composta da un telaio in calcestruzzo armato nelle due direzioni; i pilastri perimetrali sono di forma rettangolare con sezione costante in altezza, mentre i pilastri centrali sono circolari e la sezione varia tra il piano terra e il primo piano da 70 cm a 60 cm.

Le travi, prevalentemente in spessore di solaio, sono disposte lungo i principali allineamenti longitudinali e trasversali e formano un telaio tridimensionale con i pilastri.

Le solette sono realizzate con lastre tralicciate tipo Predalles, con spessore 5+49+8 cm, alleggerito con polistirolo, e sono dotate di opportuni travetti di ripartizione; i solai del primo e del secondo piano si estendono per una superficie di circa 700 m².

Al livello del solaio al primo piano, sul lato adiacente alla ferrovia, vi è un tratto di solaio smontabile realizzato in carpenteria metallica, a completamento del primo solaio, avente una superficie di circa 130 m².

Il piano di posa delle fondazioni si trova all'incirca a -2,00 m rispetto al piano di calpestio; le fondazioni dei pilastri interni sono realizzate con plinti isolati di forma rettangolare e dimensioni variabili, mentre le fondazioni dei pilastri di bordo sono in comune con le fondazioni a trave continua dei muri di sostegno adiacenti alla struttura. I plinti e le travi continue interne sono coperti da una soletta stabilizzata, realizzata con materiale di scavo, quale ghiaia, debolmente rinforzata con rete elettrosaldata. Sopra tale soletta vi è la pavimentazione realizzata in calcestruzzo armato, spessa circa 30 cm.

Sul lato Nord-Est la struttura è separata da un muro di sostegno dalla Ferrovia, sul lato Sud-Est confina con la struttura adiacente, sede della Bruschetti S.r.l., mentre a Sud-Ovest confina con Via Sturla, strada separata dall'edificio mediante un muro di sostegno, e da cui è possibile l'accesso delle auto tramite la rampa principale; sul lato Nord-Ovest vi è un altro muro di sostegno che separa la struttura da Via Guido Gozzano.

I muri di sostegno non sono parte integrante del complesso strutturale in esame, poiché sostengono le strade confinanti con la struttura.

L'accesso al parcheggio avviene lato Via Sturla, mediante una piazzola di ingresso a quota 28,50 m slm, realizzata in struttura piena in calcestruzzo armato.

Nella struttura vi sono due rampe di accesso realizzate in calcestruzzo armato pieno: una va da quota 28,50 m, in corrispondenza dell'accesso da Via Sturla, alla quota 25,30 m del primo piano, la seconda va da quota 28,50 m a quota del secondo piano,

29,20; dal cortile dell'edificio Bruschetti S.r.l. sito in Via Isonzo 6, è possibile l'accesso direttamente al magazzino, posto al piano terra, e al primo piano adibito a parcheggio utilizzando le scale interne realizzate in calcestruzzo armato.

Secondo la Relazione Illustrativa dell'epoca, i materiali costruttivi impiegati sono, per le strutture in calcestruzzo armato, calcestruzzo classe 350 e acciaio FeB44K, corrispondenti rispettivamente al calcestruzzo C28/35 e all'acciaio da carpenteria B450C.

Per il solaio in carpenteria metallica, è stato impiegato acciaio per profilati Fe 360 C corrispondente all'attuale acciaio S235, e per i bulloni sono state utilizzate viti di classe 5.6.

Le analisi degli stati di sollecitazione e di deformazione, e le verifiche di resistenza sono state eseguite dall'Ingegnere Luciano Mascia, nel rispetto delle Norme Tecniche Vigenti all'epoca della costruzione, D.M. 27.07.1985, come confermato dalla relazione illustrativa.

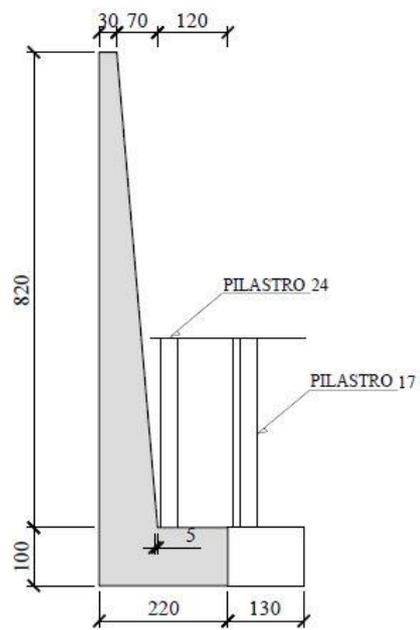
Secondo quanto riportato nella Relazione Finale, stesa a struttura ultimata, i getti sono iniziati in data 17.06.1992, previa stesura del magrone di fondazione, e sono stati ultimati in data 20.03.1994.

Nel corso dei lavori non si sono manifestati imprevisti di natura geologica o di altra natura, tali da mutare le ipotesi di progetto dell'opera.

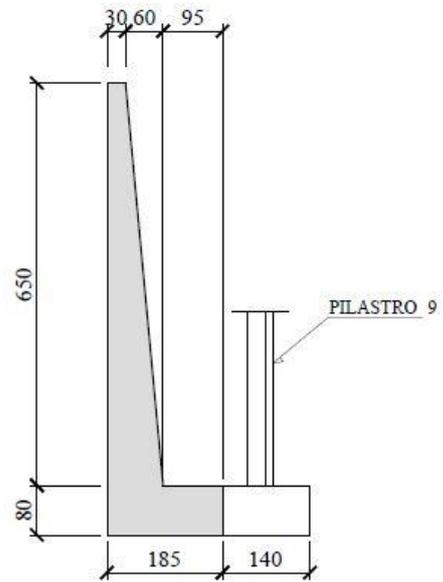
Con le informazioni raccolte mediante la relazione di calcolo, la relazione illustrativa gli elaborati grafici e i documenti delle prove, è stata condotta una analisi storico-critica, seguita da un rilievo geometrico della struttura e dalla valutazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali.

Nel seguito vengono riportati gli elaborati ridisegnati in base al progetto strutturale originario a firma dell'Ingegnere Luciano Mascia.

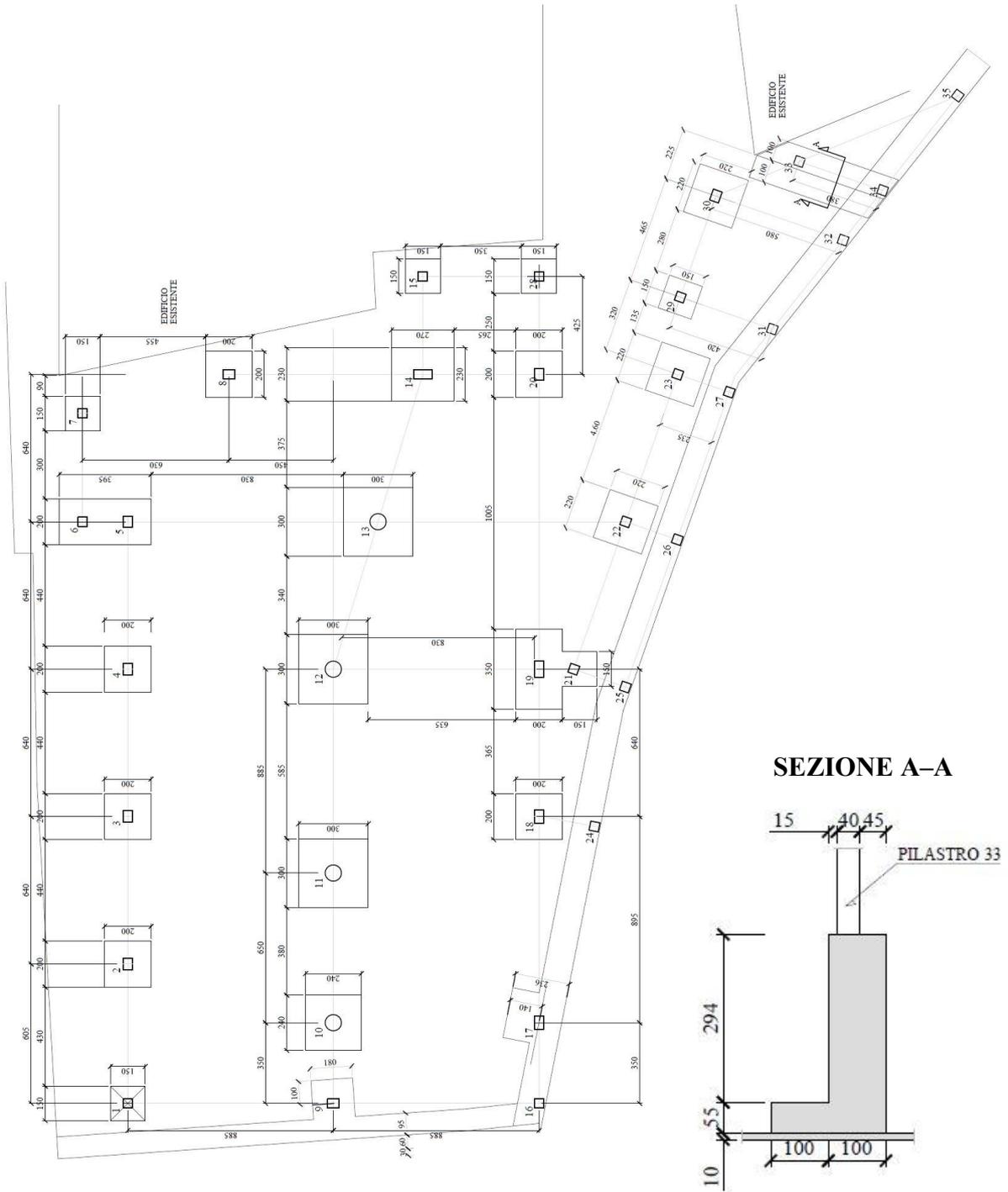
SEZIONE A-A



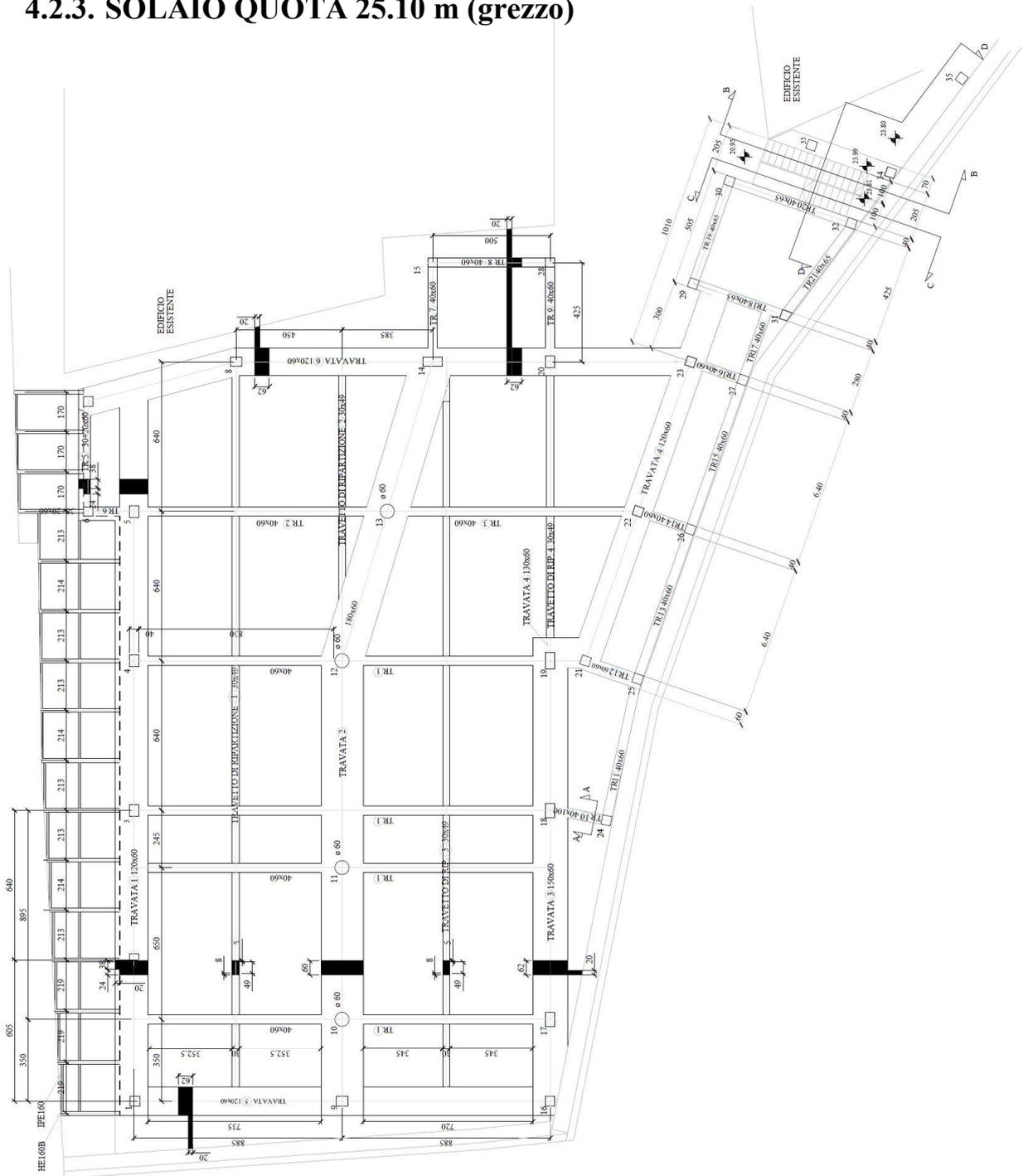
SEZIONE B-B



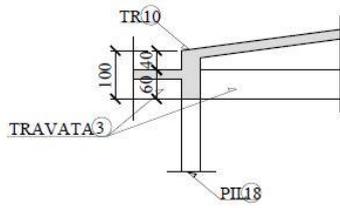
4.2.2. PIANTA DELLE FONDAZIONI



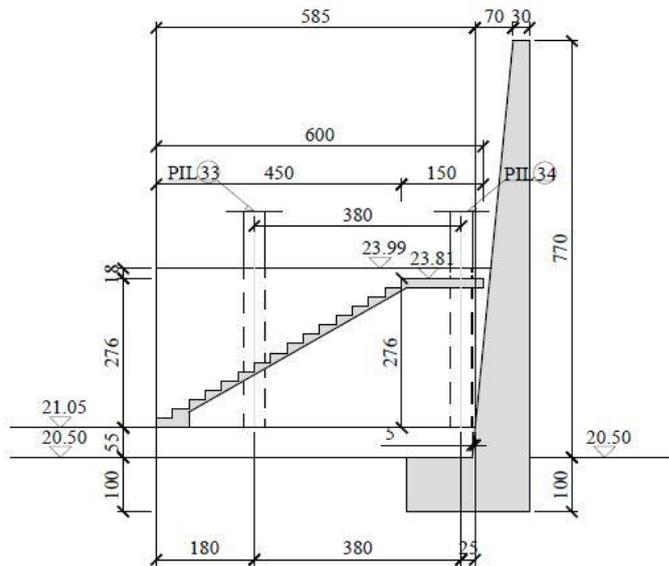
4.2.3. SOLAIO QUOTA 25.10 m (grezzo)



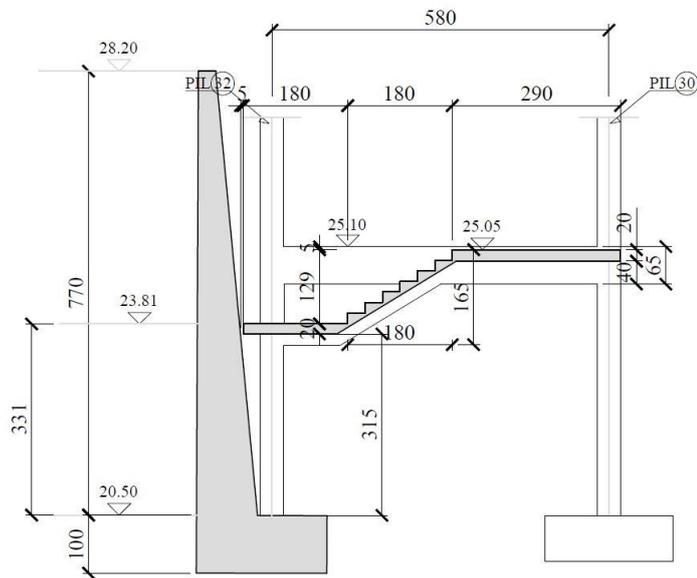
SEZIONE A-A



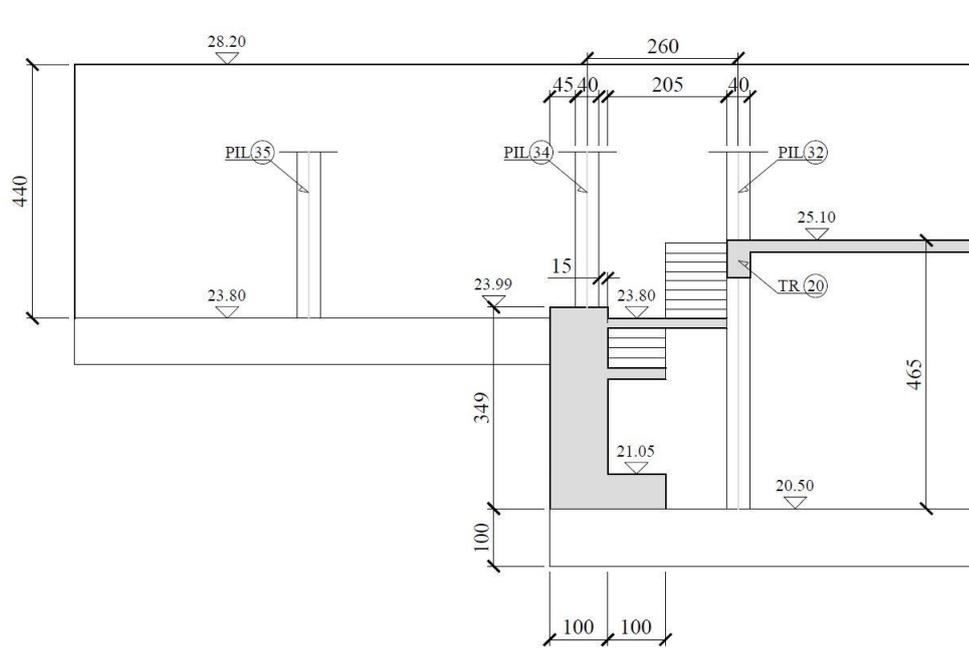
SEZIONE B-B



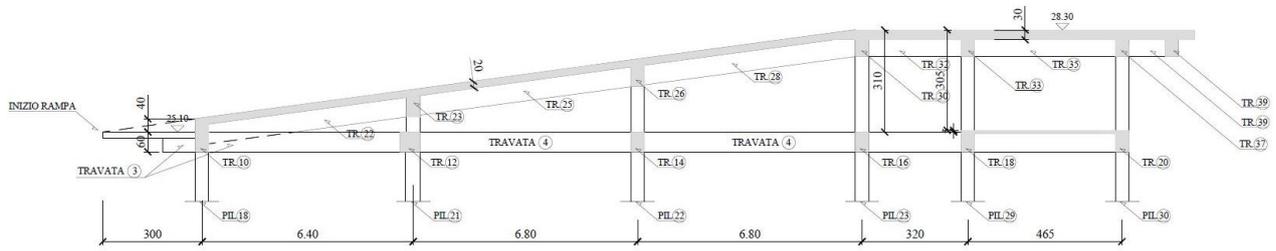
SEZIONE C-C



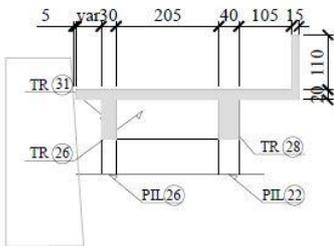
SEZIONE D-D



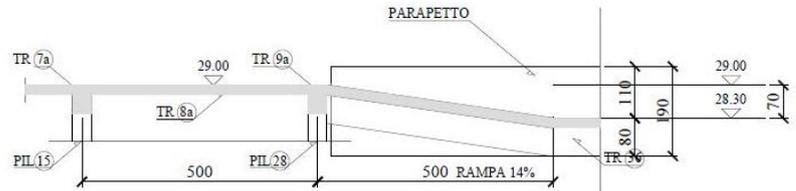
SEZIONE A-A



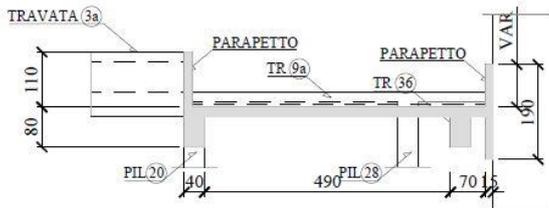
SEZIONE B-B



SEZIONE C-C



SEZIONE D-D



Dei vari elementi strutturali sono state reperite le documentazioni necessarie per conoscere le armature presenti; in particolare per le travi sono state reperite le tavole delle carpenterie metalliche, mentre per i pilastri alcune indicazioni relativamente le armature dei pilastri, completando il rilievo geometrico in modo esaustivo.

PLINTO n°	DIMENSIONI (cm)	ALTEZZA (cm)	PILASTRO	DIMENSIONI (cm)
1	150x150	60	1	40x40
2	200x200	70	2	50x40
3	200x200	70	3	50x40
4	200x200	70	4	50x40
5	200x395	80	5	50x40
6		80	6	50x40
7	150x150	60	7	50x40
8	200x200	70	8	50x40
9	fondazione muro	80	9	50x40
10	240x240	80	10	ø 70 / ø 60
11	300x300	80	11	ø 70 / ø 60
12	300x300	80	12	ø 70 / ø 60
13	300x300	80	13	ø 70 / ø 60
14	230x270	80	14	80x40
15	150x150	80	15	40x40
16	fondazione muro	100	16	40x40
17	fondazione muro	100	17	60x40
18	200x200	70	18	60x40
19	da pianta fondazioni	80	19	70x40
20	200x200	70	20	50x40
21		80	21	50x40
22	220x220	80	22	50x40
23	220x220	80	23	50x40
24	fondazione muro	100	24	40x40
25	fondazione muro	100	25	40x40
26	fondazione muro	100	26	40x40
27	fondazione muro	100	27	40x40
28	150x150	60	28	40x40
29	150x150	60	29	40x40
30	220x220	60	30	50x40
31	fondazione muro	100	31	40x40
32	fondazione muro	100	32	40x40
33	fondazione muro	su muro	33	40x40
34	fondazione muro	100	34	40x40
35	fondazione muro	su muro	35	40x40

Tabella 4 – Dimensioni plinti.

Tabella 5 – Dimensioni pilastri.

SOLAIO QUOTA 25.10	
TRAVE	SEZIONE(cm)
TRAVATA 1	120x60
TRAVATA 2	180x60
TRAVATA 3	150x60
TRAVATA 5	120x60
TRAVATA 6	120x60
TR 1	40x60
TR 2	40x60
TR 3	40x60
TR 4	130x60
TR 5	40+20x60
TR 6	40+20x60
TR 7	40x60
TR 8	40x60
TR 9	40x60
TR 10	40x100
TR 11	40x60
TR 12	60x80
TR 13	40x60
TR 14	40x60
TR 15	40x60
TR 16	40x60
TR 17	40x60
TR 18	40x65
TR 19	40x65
TR 20	40x65
TR 21	40x65
TRAV. RIPARTIZ. 1	30x49
TRAV. RIPARTIZ. 2	30x49
TRAV. RIPARTIZ. 3	30x49
TRAV. RIPARTIZ. 4	30x49

Tabella 6 – Dimensioni travi solaio piano 1.

SOLAIO QUOTA 29.00	
TRAVE	SEZIONE(cm)
TRAVATA 1a	120x60
TRAVATA 2a	180x60
TRAVATA 3a	120x60
TRAVATA 5a	120x60
TRAVATA 6a	120x60
TR 1a	40x60
TR 2a	40x60
TR 3a	40x60
TR 5a	30x60
TR 6a	30x60
TR 7a	40x60
TR 8a	40x60
TR 9a	40x60
TR 10a	40x100
TR 22	40x80
TR 23	40x80
TR 24	30x80
TR 25	40x80
TR 26	40x80
TR 27	30x80
TR 28	40x80
TR 29	40x80
TR 30	40x80
TR 31	30x80
TR 32	40x80
TR 33	40x80
TR 34	30x80
TR 35	40x80
TR 36	40x80
TR 37	40x80
TR 38	40x80
TR 39	40x80
TR 40	40x80
TR 41	40x80
TR 42	40x80
TR 43	40x80
TRAV. RIPARTIZ. 1a	30x49
TRAV. RIPARTIZ. 2a	30x49
TRAV. RIPARTIZ. 3a	30x49

Tabella 7 – Dimensioni travi solaio piano 2.

4.3. INDAGINI STRUTTURALI

Per completare la conoscenza della struttura, l'ultima fase prevede la caratterizzazione meccanica dei materiali; di seguito vengono riportate le analisi meccaniche svolte all'epoca, a confronto con quelle effettuate nel corso degli ultimi anni.

Da quanto emerge dalla relazione finale della struttura ultimata, nel corso dei lavori sono stati prelevati numerosi cubetti di calcestruzzo dalla Direzione dei Lavori: gli stessi sono stati poi inviati all'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università degli Studi di Genova, così come risulta da sei certificati allegati alla relazione stessa. Allo stesso laboratorio sono stati inviati campioni di barre di acciaio Fe B 44 K, come risulta dai quattro certificati allegati alla relazione finale.

Di seguito viene riportato il Certificato di prova di compressione su conglomerato cementizio, rilasciato dall'Istituto di Scien.za delle Costruzioni dell'Università di Genova in data 29/07/1993.

Il provino cubico di calcestruzzo R_{ck} 350 ha lato di 15cm, per una sezione resistente di 225 cm². Si può quindi verificare che il calcestruzzo presenta una resistenza a compressione unitaria di 410 daN/cm².

PROVE DI COMPRESSIONE richieste da: PARODI RICCARDO & C. SNC
 con lettera del 29/07/93 n.402 sopra campioni di conglomerato cementizio, dichiarati:
 confezionati con - kg/m³ di cemento titolo - (o R_{ck} 350 daN/cm²) e provenienti da:
 Costruzione di un magazzino di proprietà della Bruschettoni S.r.l. in
 Genova - Via Isonzo 6

n°	Indicazione dei campioni	Dimensioni cm	Sezione resistente cm ²	Resistenza		Data del getto	Data della prova
				Totale KN	Unitaria daN/cm ²		
1	13/7/93	15X15X15	225	922	410	13/07/93	16/08/93
2	13/7/93	15X15X15	225	902	401	13/07/93	16/08/93



GENOVA, 30/08/93
 IL DIRETTORE DELL'ISTITUTO
 Visto: IL RETTORE

Figura 5 – Certificato di prova di compressione su conglomerato cementizio.

Nell'immagine seguente viene riportato il Certificato di prove di trazione e di piegamento su barra di acciaio Fe B 44, rilasciato dall'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Genova in data 07/03/1992.

Le barre sono di acciaio Fe B44 del diametro di 8, 10, 12, 14 e 16 mm, e relative sezioni resistenti. Sono stati ricavati il carico di snervamento e il carico di rottura.

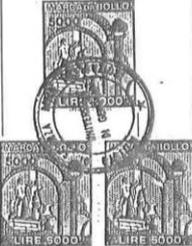
CERTIFICATO 126377



ISTITUTO DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI
DELL'UNIVERSITÀ DI GENOVA
LABORATORIO UFFICIALE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

PROVE DI TRAZIONE richieste da: PARODI RICCARDO & C. SNC
 con lettera del 07/03/92 n.337 su campioni di barre sagomati per armatura di
 conglomerato cementizio, dichiarati: Fe B44 e provenienti da:
 Costruzione di un magazzino di proprietà della Bruschettoni S.r.l.
 in Genova, Via Isonzo 6

N°	Indicazioni dei campioni	Diametro del provino mm	Sezione resistente mm²	Carico di snervamento		Carico di rottura		Allungamento % su 5 D
				Totale KN	Unitario daN/mm²	Totale KN	Unitario daN/mm²	
1		8	50.2	28.4	56.6	34.3	68.3	23
2		8	50.2	29.4	58.6	35.3	70.3	22
3		8	50.2	28.4	56.6	34.3	68.3	23
4		10	78.5	41.2	52.5	55.4	70.6	20
5		10	78.5	41.2	52.5	55.4	70.6	20
6		10	78.5	41.2	52.5	55.9	71.2	*
7		12	113.0	56.9	50.3	68.2	60.3	25
8		12	113.0	56.9	50.3	68.6	60.7	24
9		12	113.0	56.9	50.3	68.6	60.7	24
10		14	153.9	78.5	51.0	101.0	65.6	27
11		14	153.9	78.5	51.0	101.0	65.6	27
12		14	153.9	78.5	51.0	101.0	65.6	26
13		16	201.0	100.0	49.8	127.5	63.4	22
14		16	201.0	100.0	49.8	128.5	63.9	21
15		16	201.0	100.0	49.8	128.5	63.9	21



* Rottura fuori tratto utile

IL DIRETTORE DELL'ISTITUTO



VIS. IL RETTORE



GENOVA, 23/09/92

Figura 6 – Certificato di prove di trazione e di piegamento, barra di acciaio Fe B 44

Nel settembre 2018 sono state svolte le prove strutturali NDT “Non Destructive Testing” e MDT sul calcestruzzo e sulle barre d’armatura.

Nello specifico sono state svolte le prove di compressione su carote di calcestruzzo prelevato; prove di pullout mediante inserti ad espansione geometrica forzata posti in opera, per valutare la forza di estrazione; prove sclerometriche con una serie di 12 battute sull’elemento secondo una maglia quadrata, e infine le prove di durezza Leeb superficiale sui ferri, svolte in sito senza l’estrazione di armatura dopo la rimozione del copriferro.

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove eseguite, consultabili nel Rapporto di Prova n. RP8862, e nella Relazione sulle indagini strutturali in Allegato.

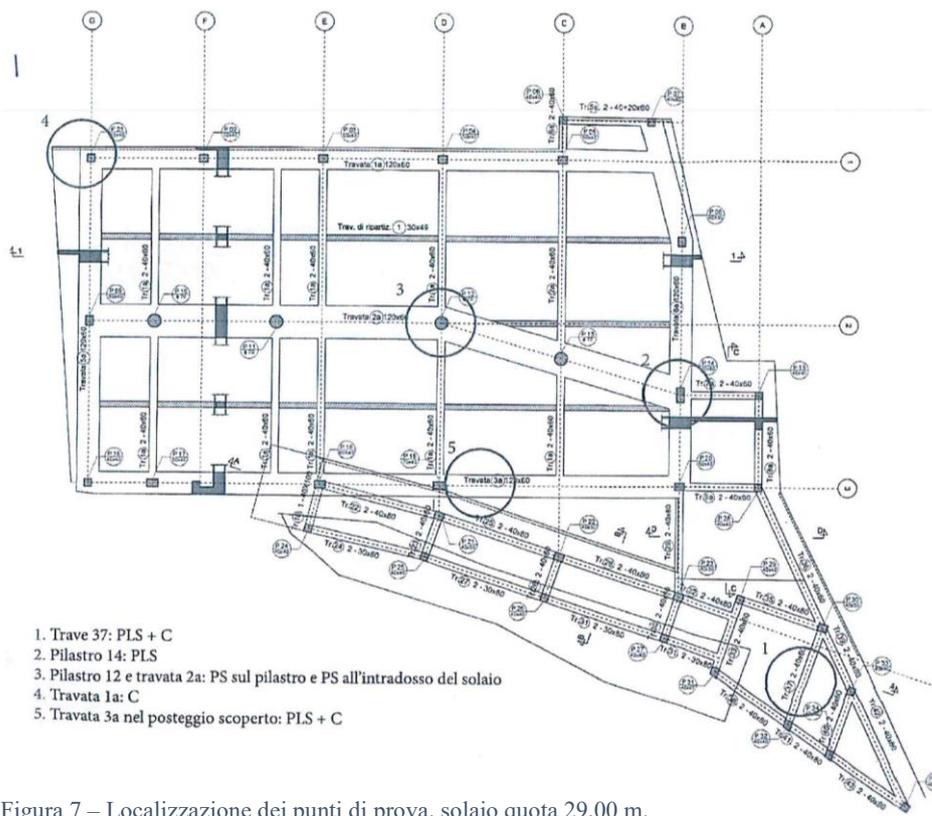


Figura 7 – Localizzazione dei punti di prova, solaio quota 29,00 m.

Dai carotaggi si ricava una resistenza cubica R_c con valori compresi tra 30 e 33.5 N/mm^2 .

Elemento	Carota	Dimensioni campione [mm]	Massa [kg]	Massa volumica [kg/m^3]	Resist. Totale [kN]	Resist. Unitaria [N/mm^2]	Resist. Cubica R_c [N/mm^2]	Rottura
1	P1-C	$h=190$ $\phi=95$ $h/\phi=2.00$	3.139	2330	197.2	27.8	33.5	Conforme
4	P4-C	$h=164$ $\phi=95$ $h/\phi=1.73$	2.598	2230	198.7	28.0	32.0	Conforme
5	P5-C	$h=189$ $\phi=95$ $h/\phi=1.99$	3.062	2290	181.6	25.6	30.8	Conforme

Tabella 8– Sintesi dei risultati delle prove sulle carote estratte.

I dati ottenuti dalle prove su carote, con quelli delle prove di pull out hanno permesso di verificare la correlazione tra resistenza cubica stimata e la pressione di estrazione, come riportato nella figura seguente.

Punto di indagine	1	2	3-PIL	3-TR	4	5
Pressione di estrazione media [bar]	151	135	120	170	-	166
Resistenza cubica della carota di calcestruzzo [MPa]	33.5	-	-	-	32.0	30.8
Resistenza cubica del calcestruzzo stimata [MPa]	30.5	25.9	22.3	35.7	-	34.4

Tabella 9– Prove di pullout.

Le prove sclerometriche hanno permesso di valutare il valore medio di R_c , note la media e la deviazione standard delle serie di ripetizioni svolte.

L'affidabilità in questo caso è molto bassa, a causa dei grossi errori sperimentali.

Punto di misura	Lato	Indice di rimbalzo I_R												Dev.St.	Media	R_c [N/mm ²]			
		Valori registrati max/min		min		max		32		30		30				30			
1	A	Valori registrati max/min		29	30	33	32	30	30	30	30	30	32	30	30	30	0,84	30	27
		Valori		38	32	34	32	34	34	34	40	42	46	38	30				
		Valori registrati max/min		38	32	34	32	34	34	34	40	42	46	38	30				
	B	Valori registrati max/min		38	32	34	32	34	34	34	40	42	46	38	30	3,46	36	35	
		Valori		38	32	34	32	34	34	34	40	42	46	38	30				
		Valori registrati max/min		38	32	34	32	34	34	34	40	42	46	38	30				
		I_R medio (in tutto il punto di misura)												33	R_c medio	31.0			
		Dev.st. I_R (in tutto il punto di misura)												3.7	Err. Medio \pm	6.1			
2	A	Valori registrati max/min		36	36	42	36	42	42	30	44	40	34	34	36	3,33	38	38	
		Valori		36	36	42	36	42	42	30	44	40	34	34	36				
		Valori registrati max/min		46	44	44	44	44	44	44	38	42	42	44	44				
	B	Valori registrati max/min		46	44	44	44	44	44	44	38	42	42	44	44	0,84	44	48	
		Valori		44	44	44	44	44	44	44	42	42	44	44					
		Valori registrati max/min		44	44	44	44	44	44	44	42	42	44	44					
		I_R medio (in tutto il punto di misura)												41	R_c medio	43.1			
		Dev.st. I_R (in tutto il punto di misura)												3.8	Err. Medio \pm	7.5			
3-PIL	A	Valori registrati max/min		42	35	38	38	38	36	45	44	42	44	42	40	2,80	40	43	
		Valori		42	35	38	38	38	36	45	44	42	44	42	40				
		Valori registrati max/min		37	38	38	38	42	50	40	38	38	38	38	38				
	B	Valori registrati max/min		37	38	38	38	42	50	40	38	38	38	38	38	1,35	39	40	
		Valori		36	38	38	38	42	40	38	38	38	38	38					
		Valori registrati max/min		36	38	38	38	42	40	38	38	38	38	38					
		I_R medio (in tutto il punto di misura)												40	R_c medio	41.2			
		Dev.st. I_R (in tutto il punto di misura)												2.3	Err. Medio \pm	7.3			
3-TR	A	Valori registrati max/min		54	50	52	43	50	50	46	50	48	44	46	48	2,46	48	55	
		Valori		54	50	52	43	50	50	46	50	48	44	46	48				
		Valori registrati max/min		39	40	40	42	40	40	44	40	42	42	42	40				
	B	Valori registrati max/min		39	40	40	42	40	40	44	40	42	42	42	40	1,03	41	43	
		Valori		40	40	42	40	40	40	42	42	42	40						
		Valori registrati max/min		40	40	42	40	40	40	42	42	42	40						
		I_R medio (in tutto il punto di misura)												45	R_c medio	49.4			
		Dev.st. I_R (in tutto il punto di misura)												4.3	Err. Medio \pm	8.0			
5	A	Valori registrati max/min		34	44	32	32	32	32	32	42	32	32	32	28	3,16	33	31	
		Valori		34	44	32	32	32	32	32	42	32	32	32	28				
		Valori registrati max/min		32	30	32	36	32	34	32	32	32	32	44	32				
	B	Valori registrati max/min		32	30	32	36	32	34	32	32	32	32	44	32	1,35	33	30	
		Valori		32	30	32	36	32	34	32	32	32	32	44	32				
		Valori registrati max/min		32	30	32	36	32	34	32	32	32	32	44	32				
		I_R medio (in tutto il punto di misura)												33	R_c medio	30.6			
		Dev.st. I_R (in tutto il punto di misura)												2.4	Err. Medio \pm	6.1			

Tabella 10– Prove sclerometriche.

Con le prove di durezza Leeb è stata stimata la resistenza corrispondente dei ferri.

Punto di misura	Ripetizione	Durezza Leeb <i>HL</i>					Dev St.	Media
1	1	441	455	435	435	430	11.5	430
		424	422	426	416	419		
<i>HL</i> medio (in tutto il punto di misura)							430	
Dev.st. <i>HL</i> (in tutto il punto di misura)							11.5	
f_y [N/mm²]							440	
Err. Medio							±15%	
Punto di misura	Ripetizione	Durezza Leeb <i>HL</i>					Dev St.	Media
2	1	479	468	475	460	469	6.9	467
		463	470	456	463	465		
<i>HL</i> medio (in tutto il punto di misura)							467	
Dev.st. <i>HL</i> (in tutto il punto di misura)							6.9	
f_y [N/mm²]							560	
Err. Medio							±15%	

Tabella 11- Prove Leeb.

La determinazione delle caratteristiche dei materiali ha permesso di concludere tutta la fase di conoscenza dell'edificio esistente in modo soddisfacente, attribuendo nel complesso un livello di conoscenza adeguato al fine di ricostruire il modello dello stato attuale.

4.4. LA MODELLAZIONE STRUTTURALE

Per poter svolgere le analisi strutturali secondo le Normative vigenti, si è proceduto modellando la struttura oggetto di studio utilizzando il Software di Calcolo Strutturale CDM Dolmen.

Le procedure utilizzate e le scelte prese sono state studiate con il supporto dello studio “CDM Dolmen”, in cui è stato brevettato il Software, ai fini di una modellazione più vicina possibile allo stato reale della costruzione.

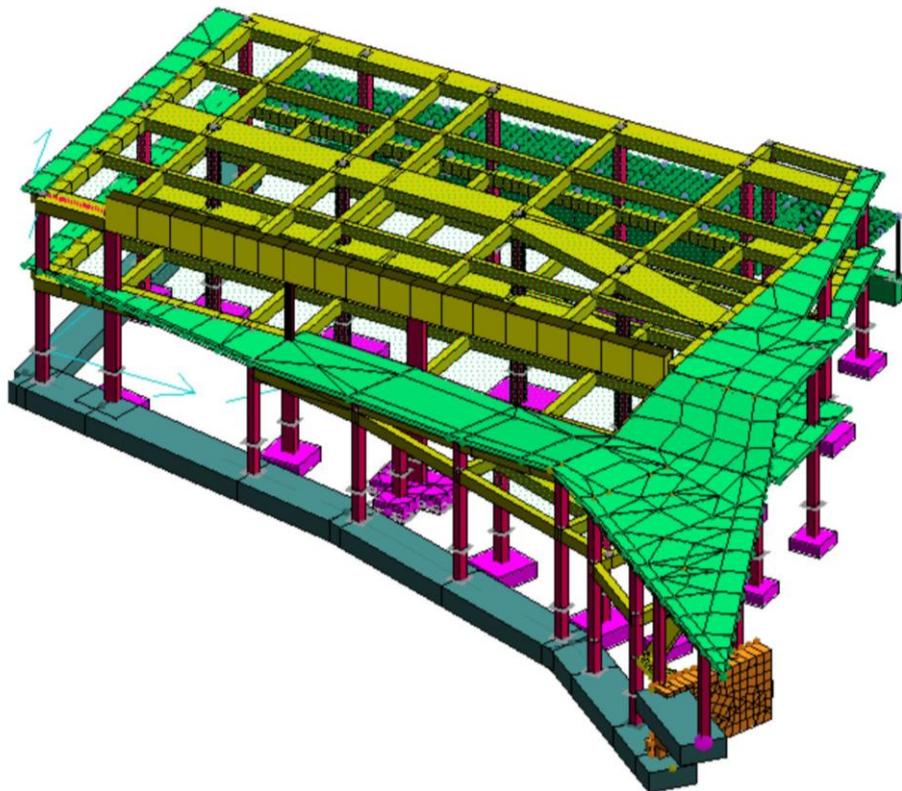


Figura 8 – Modello numerico, Software di Calcolo Strutturale CDM Dolmen.

Determinate le unità di misura con cui lavorare, come prima fase è stata definita la maglia strutturale del fabbricato, basandosi sugli elaborati originali riportati al Paragrafo 4.2; i muri di sostegno intorno alla struttura non sono stati modellati, poiché non appartenenti alla struttura stessa e quindi non influenti nella rigidità complessiva dell'organismo.

Sono stati poi impostati i materiali e le sezioni da assegnare agli elementi, facendo fede ai materiali reperiti dalla relazione tecnica illustrativa dell'epoca di costruzione. Tutte le sezioni da attribuire ai pilastri e alle travi sono state prima create e definite nell'apposita finestra “Scheda Sezioni”.

Partendo dalle fondazioni, queste sono state modellate assegnando ai nodi corrispondenti ai plinti il vincolo esterno di “plinto” in “Schede vincoli esterni”, opportunamente creati imponendo un coefficiente di Winkler pari a 3 daN/cm^3 .

I plinti dei pilastri 5–6 e 19–21, di forme diverse da quelle rettangolari, per semplicità sono stati modellati mediante gli elementi “mesh” a cui sono stati assegnati “gusci” dello spessore corrispondente, e ai cui spigoli sono stati assegnati i vincoli di “blocchi orizzontali”.

Le fondazioni dei pilastri 9,16, 17, 24, 25, 26, 27, 31, 32, 34, 35 coincidono con la fondazione del muro di sostegno perimetrale, e sono state modellate come trave su terreno alla Winkler, con relativo coefficiente di Winkler pari a 3 daN/cm^3 . I pilastri sono poi stati vincolati con vincolo di “blocco orizzontale” alla trave stessa, nei nodi creati appositamente.

Considerato che il piano di posa dei plinti si trova a circa -200 cm dal piano di campagna e che i plinti sono coperti da una soletta di almeno 170 cm , più una pavimentazione di calcestruzzo armato di circa 30 cm , alla base di ogni pilastro a quota 0 cm è stato assegnato il vincolo di blocco orizzontale, in modo tale da impedire gli spostamenti lungo x e lungo y e tenere conto di questi effetti irrigidenti.

Completata la modellazione delle fondazioni, sono state assegnate le sezioni create in precedenza per i pilastri e le travi.

Un passaggio fondamentale per gli elementi tipo “frame” quali pilastri e travi è quello di creare delle membrature con il comando “Membrature” nella sezione “Carpenterie” al fine di facilitare poi il disegno delle armature e l’aggiornamento delle sollecitazioni sugli elementi.

A seguire sono stati creati i solai mediante il comando: “Solai”, “Nuovo” nella sezione “Struttura”, quindi sono state date le orditure.

Ai due piani corrispondenti ai solai sono stati assegnati i “Livelli Rigidi”, per considerare i solai come piani con rigidità infinita.

Fatta la modellazione di tutti gli elementi è stato assegnato il peso proprio all’intera struttura dalla sezione “Carichi”, “Peso Proprio” e selezionando l’intero il fabbricato. Sono poi stati assegnati i carichi ai solai, ricavati dalla relazione originale della struttura, sapendo che il peso proprio è stato calcolato automaticamente dal programma, ed è stato verificato come corrispondente con quello calcolato all’epoca, data la fedeltà nella modellazione di tutti gli elementi.

Solaio quota 25.10 m

Peso proprio= $6,50 \text{ kN/m}^2$

Carico permanente= $2,50 \text{ kN/m}^2$

Sovraccarico= $5,00 \text{ kN/m}^2$

$$g=6,50 + 2,50 = 9,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k=5,00 \text{ kN/m}^2$$

Solaio quota 29.00 m

Peso proprio=6,50 kN/m²

Carico permanente=2,50 kN/m²

Sovraccarico=5,00 kN/m²

Carico neve=1,5 kN/m²

$$g=6,50 + 2,50 = 9,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k=5,00 \text{ kN/m}^2$$

Sono poi stati modellati i solai poggianti sulla struttura in metallo, utilizzando gli elementi “mesh” per una maggiore precisione, ed assegnando gli spessori con i “gusci”, poi sono stati assegnati i carichi secondo relazione originale.

Solaio smontabile

Peso proprio=2,00 kN/m²

Carico permanente=2,00 kN/m²

Sovraccarico=10,00 kN/m²

$$g=2,00+2,00 = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k=10,00 \text{ kN/m}^2$$

Le rampe e le solette adiacenti sono state modellate come elementi “mesh” a cui sono stati assegnati i relativi spessori con gli elementi “gusci”; la scelta di questi elementi è stata guidata dal fatto che nella articolata conformazione delle rampe e delle solette in questione, tali comandi permettono una maggiore accuratezza.

Ai “gusci” sono stati assegnati i carichi che seguono, come da relazione.

Rampe e solette

Peso proprio=5,00 kN/m²

Carico permanente=2,00 kN/m²

Sovraccarico=10,00 kN/m²

$$g=5,00+2,00 = 7,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k=10,00 \text{ kN/m}^2$$

I parapetti presenti sulle solette sono stati computati come “Carichi di linea”.

Dopo aver creato le “Linee di carico” sulle aste dotate di parapetto, sono stati assegnati i “Carichi di Linea” opportunamente creati, con il valore che segue:

Parapetto

$$g=4,15 \text{ kN/m}$$

Non è stata calcolata l’azione del vento poiché ritenuta irrilevante, data l’ubicazione interrata della struttura, e l’assenza di tamponature perimetrali nell’edificio.

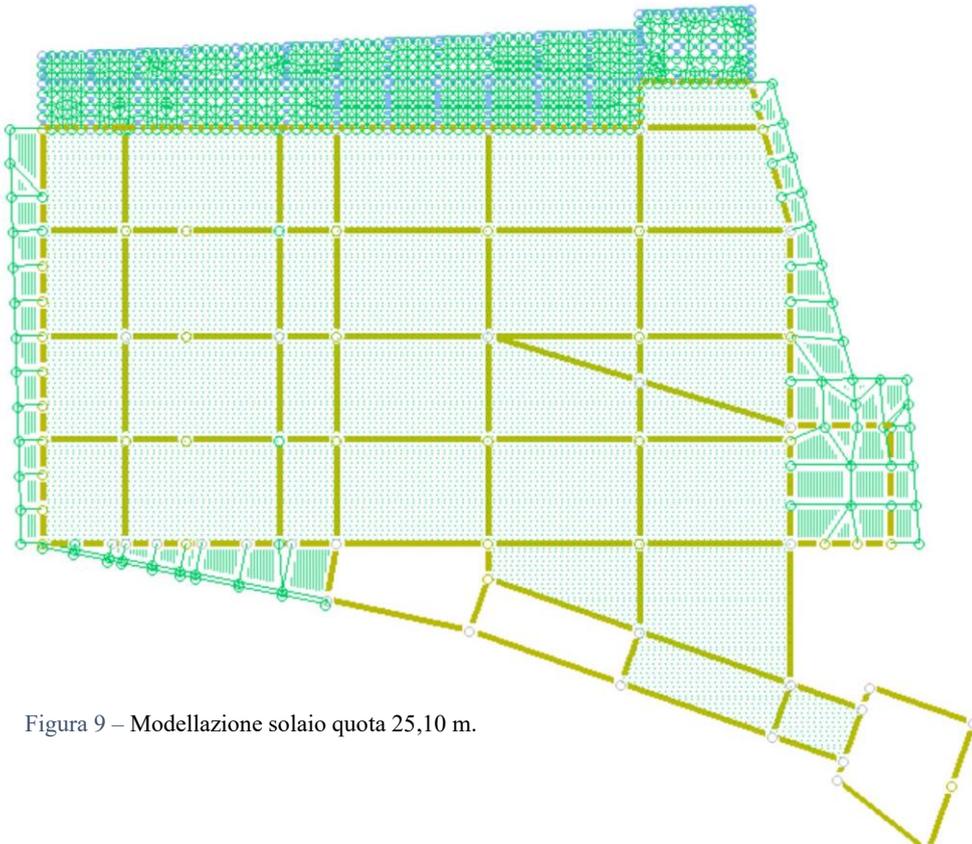


Figura 9 – Modellazione solai quota 25,10 m.

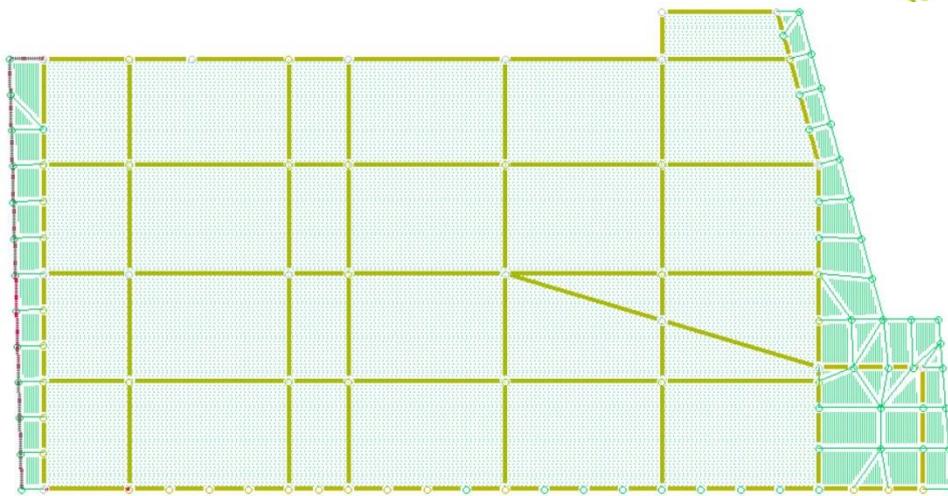


Figura 10 – Modellazione solai quota 29,00 m.

Le armature longitudinali e trasversali sono state ricavate dagli elaborati originali forniti, e sono state inserite in tutti gli elementi strutturali dell'edificio, per poi aggiornare le sollecitazioni a seguito di ogni analisi strutturale e procedere con le verifiche.

Ove non note, o nel caso in cui gli elaborati non hanno fornito informazioni sufficienti riguardo le armature, queste sono state ipotizzate in modo ragionevole per gli standard di progettazione dell'epoca, e comunque a favore di sicurezza.

Per gli elementi del tipo "frame" quali travi e pilastri sono state create delle "membrature" allo scopo di facilitare l'inserimento delle armature per l'intera pilastrata o per tutta la trave continua.

Travi e pilastri sono stati armati uno ad uno mediante il comando "Progetta ex novo" nelle rispettive sezioni "Pilastri" e "Travi" sotto la voce "C.A.".

A titolo esemplificativo, nel seguito vengono riportate le armature di una travata e di una pilastrata.

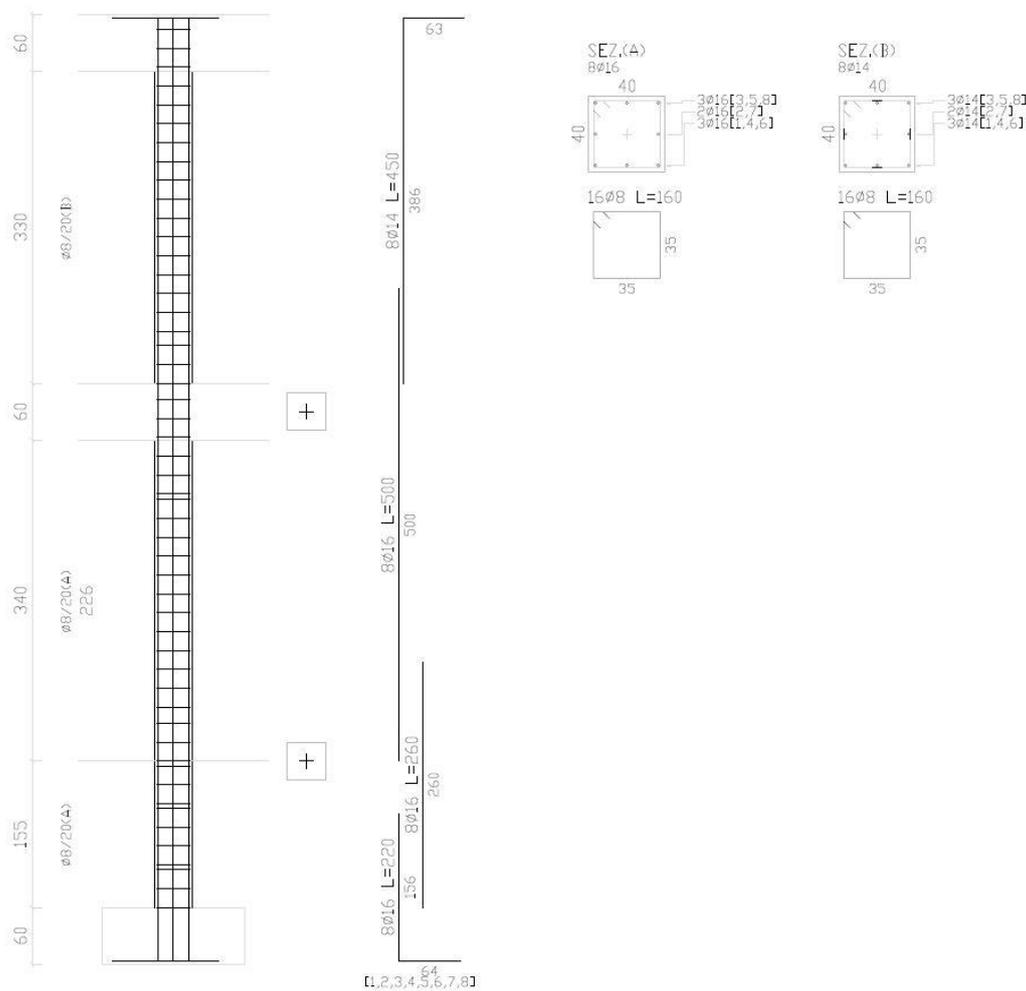


Figura 11 – Armatura del pilastro P1 come da elaborati, progettata in Dolmen.

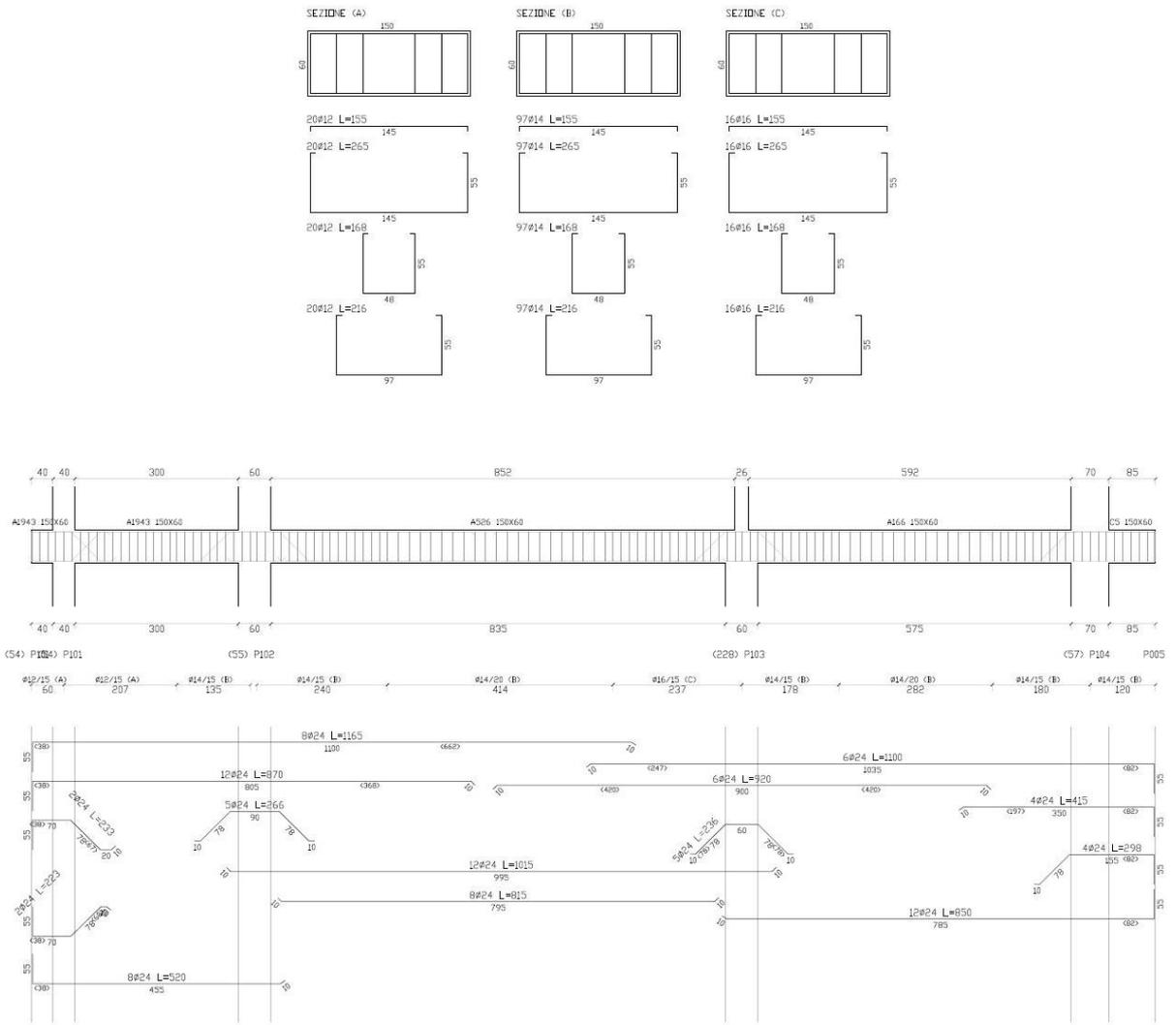


Figura 12 – Armatura Travata 3 come da elaborati, progettata in Dolmen.

Per armare i plinti realizzati come vincoli esterni “plinti” è stato utilizzato il programma “IS Plinti”, sezione distaccata su Dolmen in cui sono stati esportati tutti i plinti creati nel modello, i carichi e le analisi condotte.

Qui in “definizione armatura” sono state definite le tipologie di armature longitudinali e trasversali. Di seguito viene riportata l’armatura del Plinto 10 (indicato con la sigla 11 nel programma), che risulta essere significativo in quanto uno dei più sollecitati.

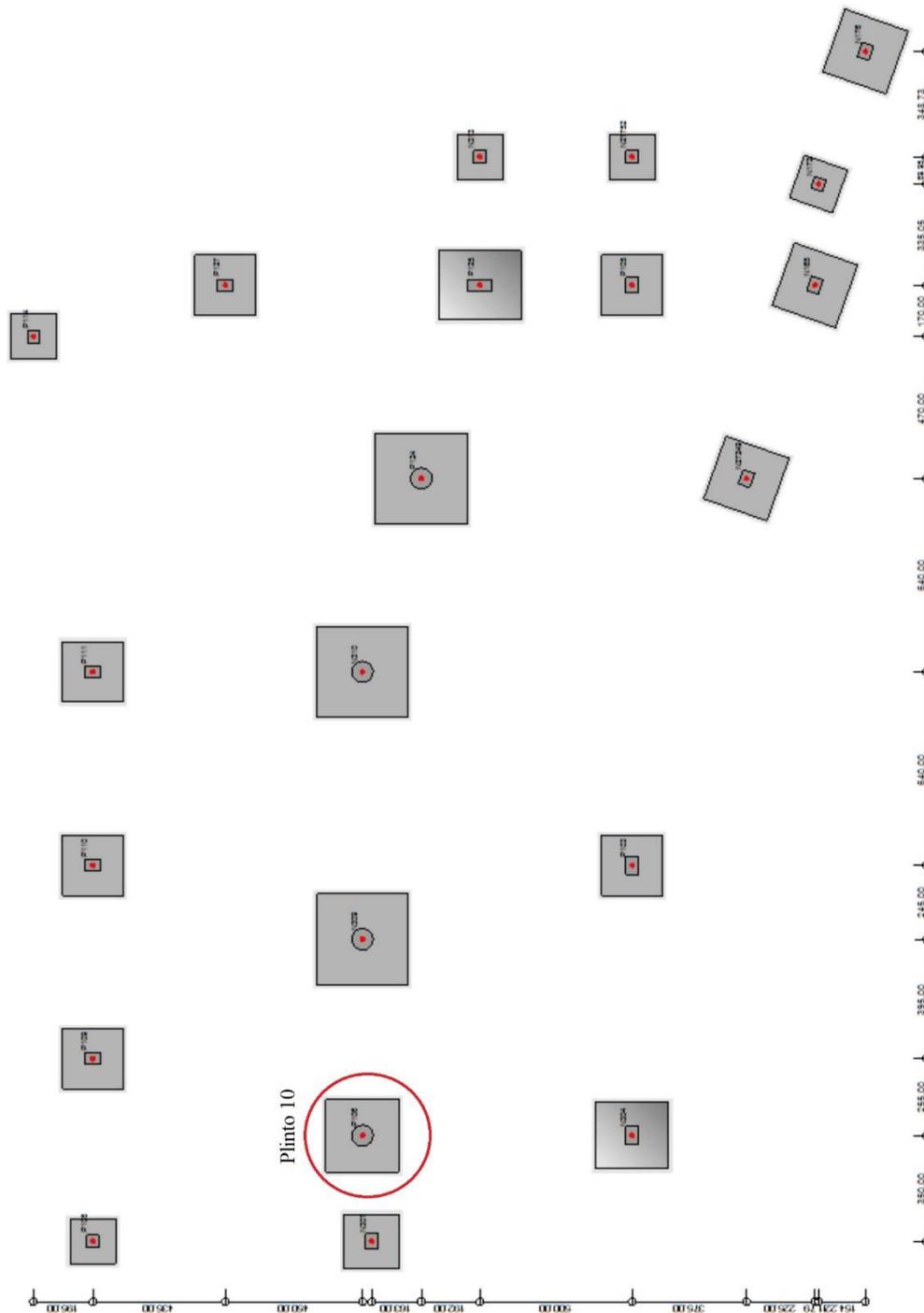


Figura 13 – Pianta dei plinti, importata in IS Plinti.

Il Plinto 10 è armato con 26 ϕ 16 superiormente, e 26 ϕ 12 inferiormente, come in figura.

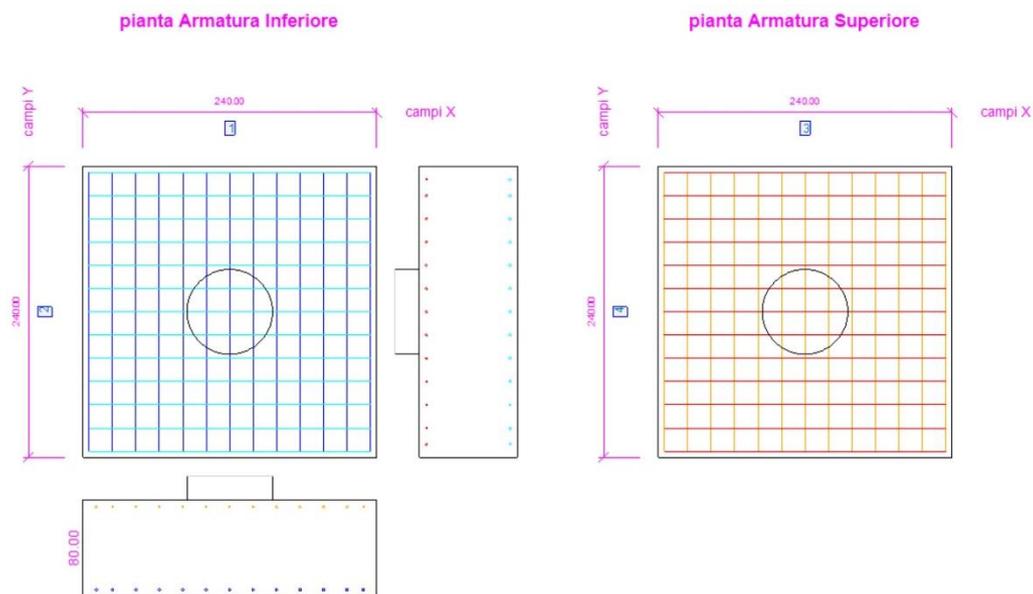


Figura 14 – Carpenteria metallica plinto 10, progettata in Dolmen.

FORMA	Φ [mm]	n.Ferri	Lungh[cm]	Peso[daN]	POS	n.Ferri	Passo[cm]	Descrizione
	16	26	294 SINGOLO	4.6 SINGOLO		13	19	Inf. lungo X
			7644 TOTALE	120.6 TOTALE			13	19
	12	26	280 SINGOLO	2.5 SINGOLO		13	19	Sup. lungo X
			7280 TOTALE	64.6 TOTALE			13	19

Tabella 12 – Tabella ferri Plinto 10.

I plinti delle coppie di pilastri 6–5 e 19–21 sono stati modellati come elementi “piastre” a causa delle limitazioni presenti in “Is Plinti” per quanto riguarda le forme dei plinti e il numero dei pilastri per plinto.

4.5. IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Il calcolo delle sollecitazioni è stato condotto secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite, con l'utilizzo dei coefficienti parziali.

Le sollecitazioni agenti sulla struttura sono state calcolate assumendo due modelli di calcolo, per valutare qualitativamente l'influenza delle azioni sismiche sulla costruzione. Il primo modello, definito come "caso statico", è stato studiato in assenza di combinazioni sismiche; di fatto sono stati esaminati i soli carichi gravitazionali, e la struttura è stata così analizzata tenendo conto solo del peso proprio dei vari elementi e dei carichi gravitazionali agenti.

Per il secondo modello, "caso sismico", sono state considerate le azioni orizzontali del sisma in combinazione con i carichi verticali.

La costruzione non può definirsi "regolare in pianta"; per quanto riguarda i solai la distribuzione di masse e rigidezze risulta pressoché simmetrica rispetto alle due direzioni ortogonali x e y; la rampa di ingresso, che potrebbe influenzare la rigidezza nel piano dell'orizzontamento, altera questa simmetria, perciò la regolarità in pianta non è certa. Ad ogni modo si può ipotizzare che ogni orizzontamento abbia una rigidezza nel proprio piano maggiore della rigidezza degli elementi strutturali verticali, da poter assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi. [5]

La struttura non può definirsi a "regolare in altezza", poiché tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali non si estendono per tutta l'altezza della costruzione; l'irregolarità è dovuta alla presenza delle due rampe presenti nella struttura, che potrebbero alterare l'uniformità delle masse e della rigidezza in altezza.

L'incertezza legata alla definizione della regolarità in altezza ed in pianta della struttura ha portato ad assumere un fattore di comportamento $q=1,5$ come da Norme Tecniche 2018. In questo modo è stato considerato che la struttura abbia un comportamento non dissipativo, e che quindi gli elementi strutturali verticali, quali i pilastri, abbiano un comportamento fragile.

Un'altra considerazione è che la struttura esistente non rispetta i minimi Normativi per quanto riguarda la duttilità, non solo per la percentuale di armatura ρ che è inferiore al minimo imposto per ciascuna tipologia degli elementi, ma anche per il fatto che non è stata considerata la "Capacity Design" o Gerarchia delle Resistenze, il meccanismo che prevede la progettazione di travi "deboli" e pilastri "forti".

Nelle analisi che verranno svolte ciò su cui verteremo l'attenzione è la garanzia della resistenza degli elementi strutturali.

Come riportato nelle Norme Tecniche, *“il metodo d’analisi lineare di riferimento per determinare gli effetti dell’azione sismica, per comportamenti strutturali sia dissipativi sia non dissipativi, è l’analisi modale con spettro di risposta o analisi lineare dinamica”*¹⁹.

Su entrambi i modelli sono state svolte sia l’Analisi Statica che quella Dinamica Lineari, e sono state valutate l’incidenza delle azioni sismiche nel comportamento complessivo della struttura, e le condizioni di calcolo più gravose per gli elementi strutturali.

Per entrambe le analisi è stato tenuto conto dell’eccentricità accidentale del centro di massa di ogni orizzontamento.

A seguito delle verifiche di resistenza, considerata la situazione più gravosa tra i due modelli, è stato possibile risalire al tipo di intervento più idoneo per il caso studio.

¹⁹ Capitolo 7, Paragrafo 7.3.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

4.5.1. ANALISI DINAMICA LINEARE

L'analisi dinamica lineare, o analisi modale con spettro di risposta, permette di determinare i modi di vibrare della struttura. In questo tipo di analisi, lo spettro di risposta di progetto rappresenta l'azione sismica, di cui si calcolano gli effetti per ciascuno dei modi di vibrare.

Con questo tipo di analisi l'equilibrio è trattato dinamicamente e l'azione sismica è modellata con lo spettro di progetto relativo al sito in cui è ubicata la costruzione.

Nel seguito verranno considerati un numero definito di modi di vibrare, con massa partecipante totale di almeno l'85%.

Come prima fase, per accedere all'analisi dinamica lineare, sono stati inseriti i dati sismici della struttura come da Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Per ricavare i parametri relativi al sito, è stato impostato il luogo in cui è ubicata la costruzione.

The image shows a software window with a tabbed interface. The active tab is 'Zona'. Below the tabs, there are several input fields: 'Località' with the value 'GENOVA', 'Comune' with 'Genova (Genova) - Liguria', 'Zona sism.' with a dropdown menu showing '3', 'Latitudine' with '44.4193', and 'Longitudine' with '8.8975'. To the right of these fields is a map of Italy with a red dot indicating the location of Genova. Below the map is a zoomed-in view of the Genova area, showing four points with IDs: 16695, 16696, 16917, and 16918. A red dot is placed at the coordinates (8.8975, 44.4193). At the bottom of the window, there are three buttons: 'Applica', 'Applica e chiudi', and 'Chiudi'.

Figura 15 – Zona in cui è ubicato l'edificio, CDM Dolmen.

Per definire l'azione sismica di progetto, e valutare l'effetto della risposta sismica locale nel sito, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo riportata in Tab. 3.2.II delle Norme Tecniche “*Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato*”²⁰.

La classificazione è fatta in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . Nel caso in esame le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono

²⁰ Capitolo 3, Paragrafo 3.2., Tabella 3.2.II., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

state ricondotte alla Categoria di Sottosuolo C “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fin mediamente consistenti*”²¹.

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi
 B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa o terreni a grana fine molto consistenti
 C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fine mediamente consistenti
 D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti
 E - Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 30 m

Figura 16 – Categoria di suolo da NTC 2018, CDM Dolmen.

Sono state definite poi le condizioni topografiche, secondo le Norme Tecniche, individuando il sito in esame nella Categoria T1 definita in Tab. 3.2.III. delle suddette Norme “*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ”²², a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1.

Coefficiente di amplificazione topografica:

Tabella 2.2.VI - Valori massimi del coeff. di amplif. topografica

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Figura 17– Categoria topografica da NTC 2018, CDM Dolmen.

²¹ Capitolo 3, Paragrafo 3.2., Tabella 3.2.II., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

²² Capitolo 3, Paragrafo 3.2., Tabella 3.2.III., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

Sia per le azioni verticali che per quelle orizzontali, è stato valutato un fattore di struttura pari a 1,5, considerando in questo modo un comportamento non dissipativo della struttura, come indicato nella tabella 7.3.I delle NTC 2018.

Figura 18 – Fattore di struttura da NTC 2018, CDM Dolmen.

Nel valutare la vita nominale di progetto V_N , è stato considerato per la costruzione in esame un numero di anni per cui fossero previsti livelli prestazionali ordinari, se soggetta a opere di manutenzione adeguate.

Con riferimento alla Classe d'uso II *“Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali”*²³, il coefficiente d'uso è pari a 1,00, e moltiplicato per V_N permette di ricavare il periodo di riferimento per le azioni sismiche sulle costruzioni, $V_R=50$ anni.

Dati generali per sismica (NTC 2018)

Figura 19 – Dati di progetto da NTC 2018, CDM Dolmen.

²³ Capitolo 2, Paragrafo 2.4.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

Per ogni stato limite è stata individuata la relativa percentuale di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , in Tab. 3.2.I. delle Norme Tecniche. [5]

Dalla “pericolosità sismica di base” del sito in costruzione è possibile valutare le azioni sismiche di progetto, che dipendono dalle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in funzione dei seguenti parametri, ottenibili automaticamente dal Programma:

- “accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione corrispondente alla a_g , $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .”²⁴

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- “ a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.”²⁵

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R dal Programma di calcolo.

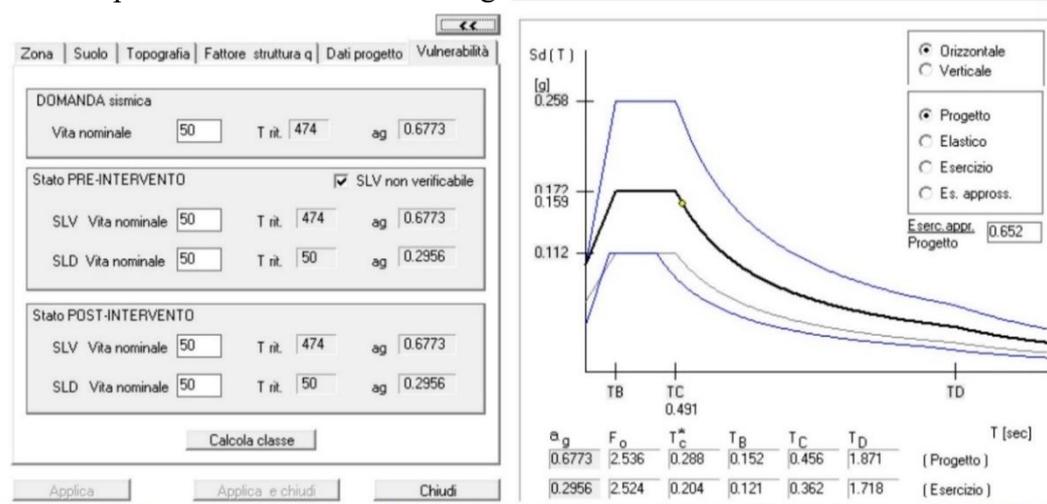


Figura 20 – Spettro di Progetto da NTC 2018, CDM Dolmen.

²⁴ Capitolo 3, Paragrafo 3.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

²⁵ Capitolo 3, Paragrafo 3.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

Dopo l’inserimento dei dati sismici, è stata lanciata l’analisi dinamica eseguendo prima la condensazione statica, un metodo semplificato per il calcolo della struttura, che considera i gradi di libertà più rilevanti nella struttura.

Subito dopo vengono calcolati gli autovalori, rappresentanti le frequenze naturali del sistema, ovvero i modi di vibrare della struttura, e le relative percentuali di massa attivata.

Figura 21 – Analisi dinamica lineare da NTC 2018, CDM Dolmen.

Nella tabella seguente sono riportati i primi tre modi di vibrare con i relativi periodi, che indicano il tempo impiegato dalla struttura affinché torni nella conformazione iniziale relativamente alla frequenza considerata.

MODI DI VIBRARE	PERIODO [s]	MASSA ATTIVATA [%]		
		x	y	z
1	0.859	18.424	35.455	0
2	0.788	24.004	51.762	0
3	0.625	46.933	1.389	0
MASSA TOTALE		89.360	88.606	0

Tabella 13 – Modi di vibrare della struttura pre-intervento.

Il primo autovettore, o modo di vibrare, ha massa prevalente partecipante lungo y , a cui corrisponde la deformata animata seguente.

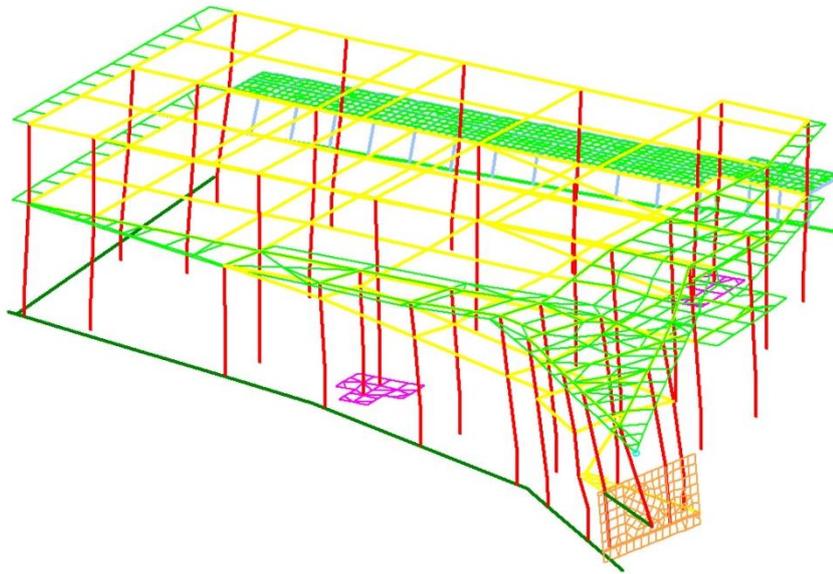


Figura 22 – Autovettore 1, deformata animata CDM Dolmen.

Il secondo autovettore ha massa prevalente partecipante lungo y , e la deformata animata è caratterizzata dall'immagine che segue.

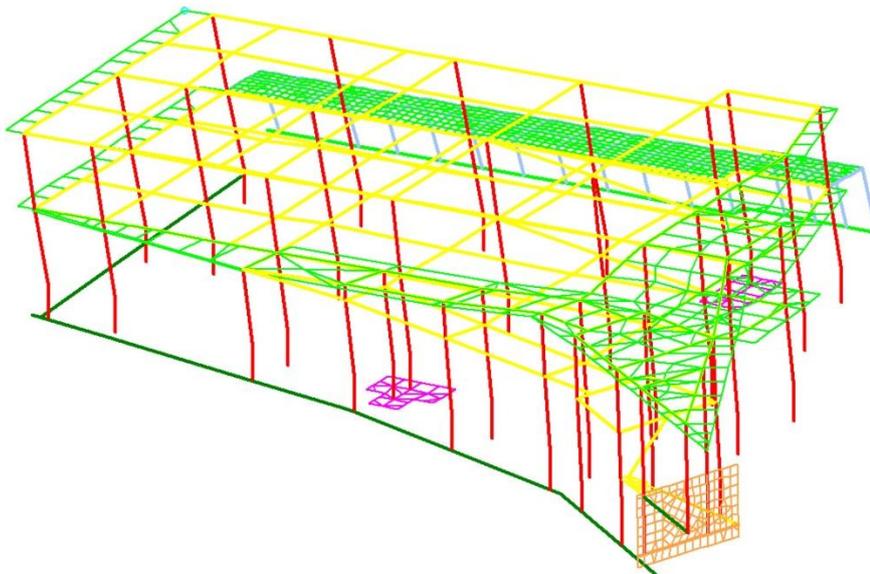


Figura 23 – Autovettore 2, deformata animata CDM Dolmen.

Il terzo autovettore ha massa prevalente partecipante lungo x .

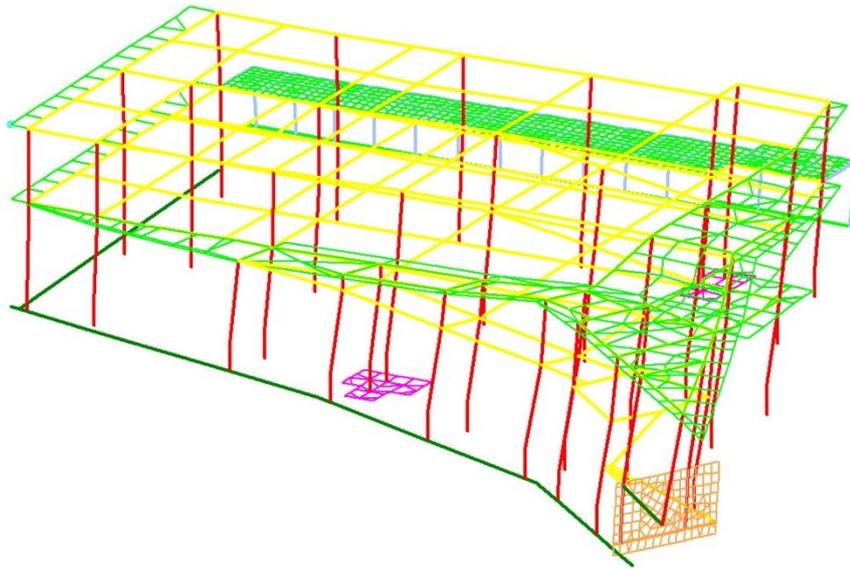


Figura 24 – Autovettore 3, deformata animata CDM Dolmen.

Al termine dell'analisi modale, svolta su entrambi i modelli di calcolo, sono state generate le condizioni sismiche e calcolate le sollecitazioni e i casi di carico, proposti secondo Normativa vigente.

Le sollecitazioni sono state valutate sia nel caso statico che nel caso sismico, al fine di valutare la conformazione più gravosa per la struttura.

A titolo esemplificativo vengono riportate le sollecitazioni sulla struttura, estrapolate a seguito delle analisi svolte sul caso sismico.

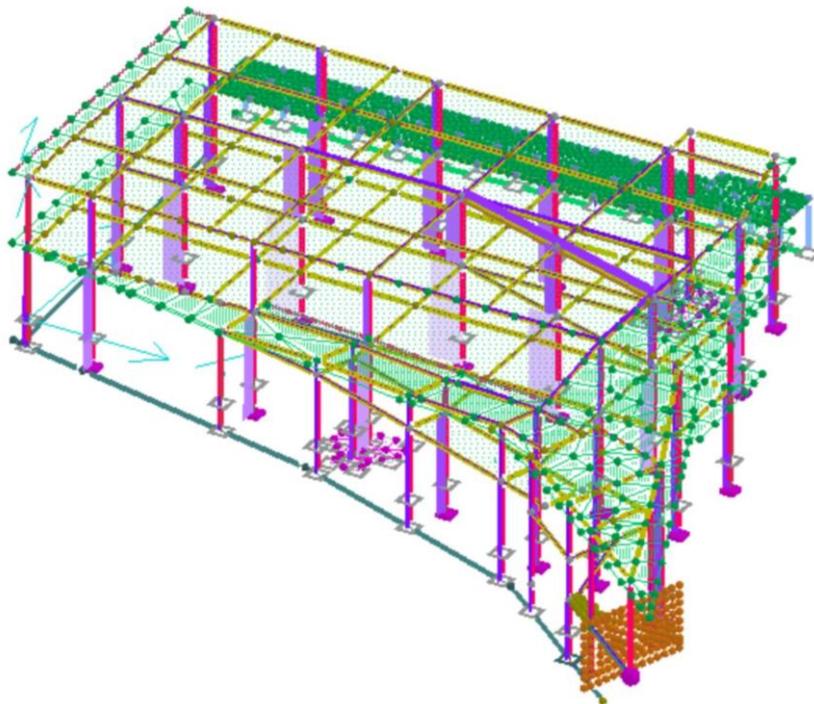


Figura 25 – Diagramma delle sollecitazioni N_{Ed} della struttura, CDM Dolmen.

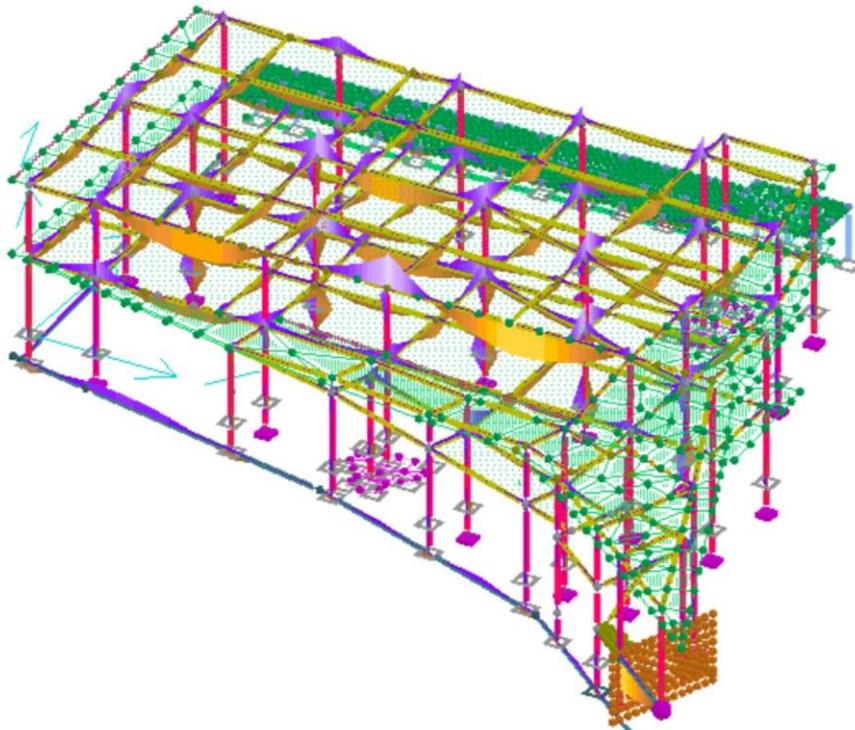


Figura 26 – Diagramma delle sollecitazioni M_{zEd} della struttura, CDM Dolmen.

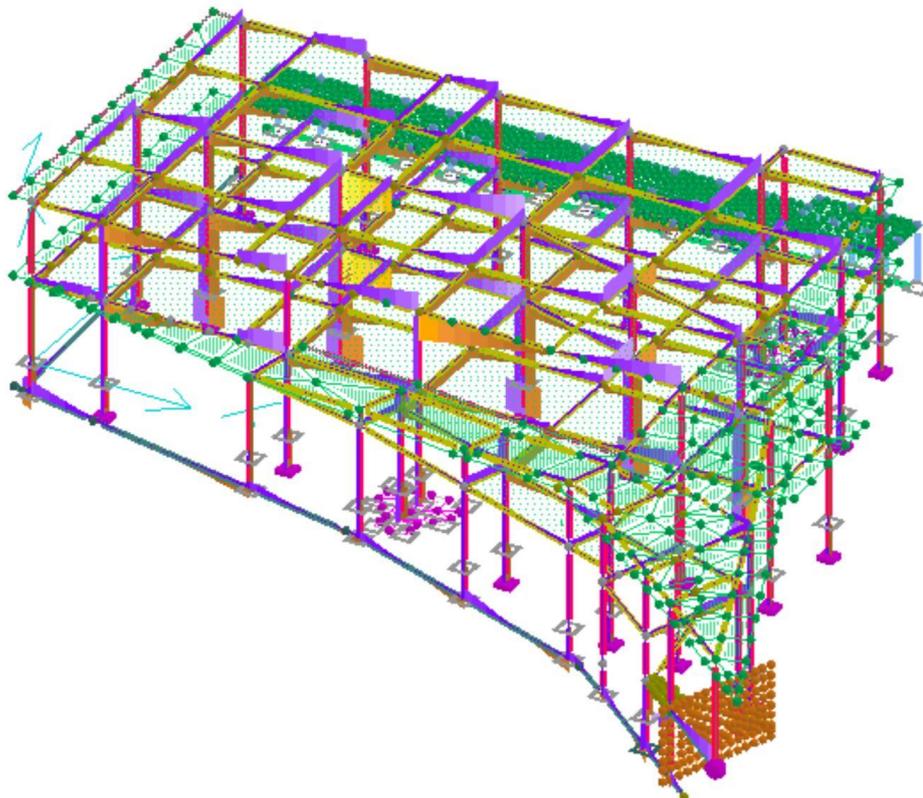


Figura 27– Diagramma delle sollecitazioni V_{yEd} della struttura, CDM Dolmen.

4.5.2. ANALISI STATICA LINEARE

L'Analisi Statica Lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica, ed anche questa è stata svolta con il Programma di Calcolo Strutturale secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Con la presente analisi è possibile ricavare il periodo del modo di vibrare principale T_1 , nella direzione in esame.

Dall'Analisi Statica sono state ottenute le forze sismiche agenti su ogni orizzontamento nelle due direzioni x e y, i pesi sismici degli elementi strutturali e quindi i centri di massa di ogni piano, le eccentricità accidentali del 5% previsti dalla Normativa e infine il posizionamento del baricentro delle rigidezze di ogni piano. [5]

Noti il centro di massa e il baricentro delle rigidezze, è stato possibile valutare anche l'eccentricità geometrica.

Nella tabella che segue, estrapolata da Dolmen, i piani sono espressi in cm, i pesi e le forze di piano in daN, i momenti torcenti in daNcm, ed i baricentri in cm.

Piani	Pesi	C. distr.	Forze piano	Torc. piano X	Torc. piano Y	Bar. X	Bar. Y
27.5	15603	0.0043	67	1898	667	4050.8	-1231.3
88.1	6854	0.0138	94	2672	939	4052.5	-1226.3
139.6	56936	0.0218	1243	216654	257751	2362.6	187.4
193.0	8578	0.0302	259	7324	2575	4049.7	-1234.3
245.0	70178	0.0383	2688	510694	565424	1803.7	1741.9
300.0	49098	0.0469	2302	98110	71996	4101.6	-1504.5
553.8	1500091	0.0866	129851	23322479	26481413	1801.5	771.4
631.9	39574	0.0988	3909	71701	25214	1859.0	-224.1
733.9	42695	0.1147	4898	97245	44723	2520.0	-467.0
827.1	16718	0.1293	2161	30137	10687	2939.0	-649.5
881.9	212230	0.1378	29255	2605399	2284260	3711.1	-938.2
945.0	1266397	0.1477	187066	19957075	36540856	1714.0	835.3

Tabella 14– Forze e momenti torcenti di piano

Nella tabella seguente sono riportate le rigidezze strutturali ricavate con l'analisi, relative ad ogni piano.

Quota [cm]	400	790	
Rigidezza $k_x / 1000$ [daN/cm]	483.056	407.34	
Rigidezza $k_y / 1000$ [daN/cm]	397.199	263.854	
Rigidezza $k_{tors} (1/6)$ [daNcm]	858795	1094553	
X_k (centro rigidezze) [cm]	2244.1	2409.7	
Y_k (centro rigidezze) [cm]	506.2	457	
X_g (baricentro) [cm]	1822.3	2011.1	
Y_g (baricentro) [cm]	713.1	567	
dimensione X [cm]	3875	3907	
dimensione Y [cm]	3425	2134	
raggio rigidezza r_x [cm]	1470	2037	
raggio rigidezza r_y [cm]	1333	1639	
raggio giratorio I_s [cm]	1493	1285	
MIN (r_x, r_y)	0.8931	1.2756	<1
$(X_g - X_k)/r_x$	0.2868	0.1957	>0.3
$(Y_g - Y_k)/r_y$	0.1552	0.0671	>0.3
2° ordine (θ_x)	2.31	1.19	<10%
2° ordine (θ_y)	2.81	1.84	<10%
percentuale dinamica X	39.49	60.51	
percentuale dinamica Y	37.17	62.83	

Tabella 15 – Tabella delle rigidezze strutturali.

Le rigidezze flessionali K_x e K_y sono calcolate come rapporto tra forza applicata e spostamento del baricentro di piano. La rigidezza torsionale K_{tors} è stata calcolata come rapporto tra momento torcente applicato e rotazione del piano.

Sono poi riportate le coordinate X_k e Y_k del centro rigidezze, vale a dire il punto attorno al quale avviene la rotazione del piano, e corrisponde al centro dell'ellisse delle rigidezze; con X_g e Y_g sono indicate le coordinate del baricentro, ovvero il punto di applicazione della risultante delle azioni gravitazionali, e perciò anche delle forze sismiche.

Nella grafica viene disegnato un rettangolo centrato sul baricentro, con base e altezza pari al 5% delle dimensioni definite al punto seguente, per individuare il range in cui può essere considerata l'eccentricità accidentale prescritta dalla Normativa. [11]

L_x ed L_y sono rispettivamente le dimensioni lungo x e lungo nel piano, e corrispondono alla larghezza e all'altezza del rettangolo che circoscrive il piano.

I raggi di rigidezza, r_x e r_y , sono definiti come la radice quadrata del rapporto tra rigidezza torsionale e rigidezza flessionale e costituiscono i semiassi dell'ellisse delle rigidezze, mentre il raggio giratorio (I_s): $I_s^2 = (L_x^2 + L_y^2) / 12$ è una lunghezza caratteristica del piano, di tipo puramente geometrico.

Il valore indicato come $\text{MIN}(r_x, r_y) / l_s$ nelle strutture a telaio rappresenta il rapporto tra il più piccolo raggio di rigidezza ed il raggio giratorio, e per Norma deve essere maggiore di 1. Nella struttura oggetto di studio, per il primo orizzontamento, questo valore è minore di 1, quindi questo piano è “deformabile torsionalmente”.

Le distanze tra distanze tra baricentro e centro delle rigidezze, rapportate al rispettivo raggio di rigidezza, sono indicate con $(X_g - X_k) / r_x$ e $(Y_g - Y_k) / r_y$.

Questi valori misurano l’eccentricità della forza sismica, che idealmente dovrebbe essere nulla, ovvero il baricentro delle masse dovrebbe coincidere col centro delle rigidezze.

Secondo l’Eurocodice 8, una distribuzione di rigidezze è considerata “regolare in pianta” se questi rapporti sono minori di 0,3. Nelle immagini viene evidenziato lo spazio di nocciolo, che è un’ellisse con gli assi pari a 0,3 volte quelli dell’ellisse di rigidezza. Si considera che la regolarità sia sufficiente se il rettangolo baricentrico cade all’interno della regione di nocciolo. [12]

Nel caso dei due solai a quota 25,10 m e 29,00 m tale limitazione è rispettata.

Con θ_x e θ_y vengono indicati gli effetti del 2° ordine. In questo caso, per ogni piano gli effetti delle non linearità geometriche non sono presenti, in quanto la quantità del peso moltiplicato per lo spostamento orizzontale relativo al piano inferiore risulta infatti minore del 10% della forza sismica per l’altezza di piano.

Il parametro calcolato è appunto il valore di tale rapporto, nelle due direzioni.

La percentuale dinamica X e Y è una stima dell’importanza della massa di piano ai fini dell’azione sismica complessiva.

Il contributo di ogni piano non dipende solo dall’entità del suo carico, ma anche dalla distribuzione delle rigidezze lungo l’altezza della struttura. [11]

Il file grafico 3D di seguito riportato riassume sinteticamente tutti i calcoli svolti, e consente inoltre di stimare la regolarità della struttura anche in senso verticale, controllando l’evoluzione piano per piano della posizione del baricentro, del centro delle rigidezze e delle dimensioni dell’ellisse di rigidezza.

Nelle immagini che seguono sono rappresentati per il piano quota 25.10 e per il piano a quota 29.00 il centro di massa all’interno del rettangolo in giallo, il baricentro delle rigidezze e l’ellisse delle rigidezze in verde.

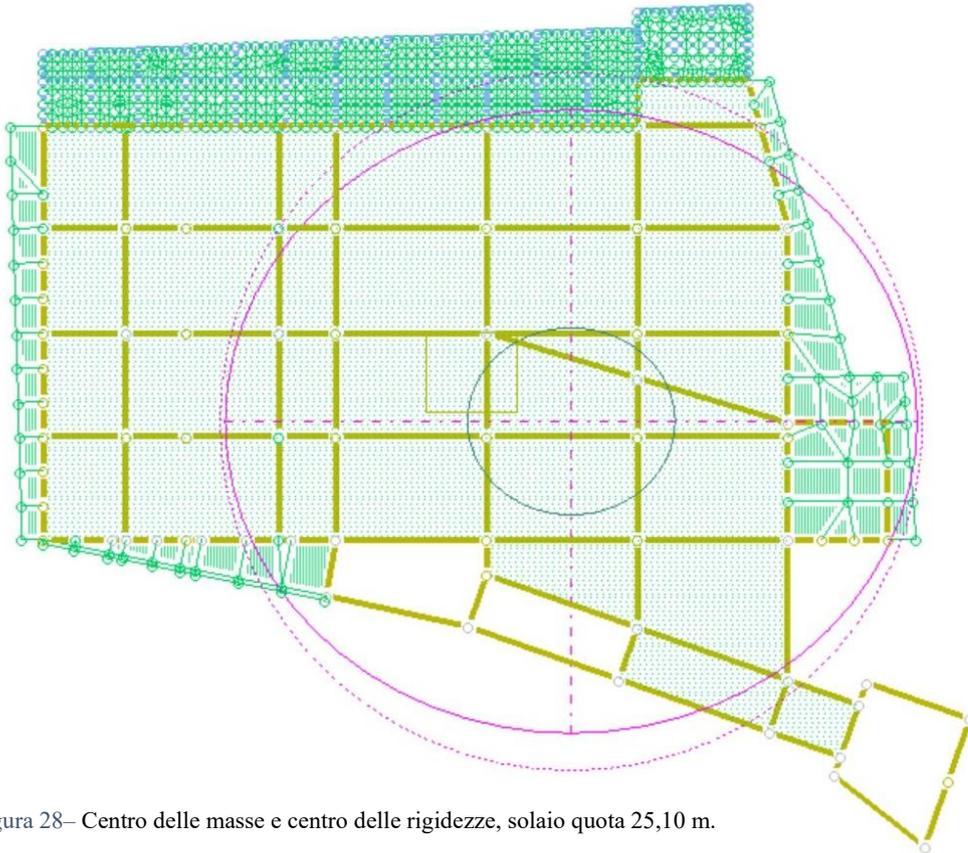


Figura 28– Centro delle masse e centro delle rigidezze, solaio quota 25,10 m.

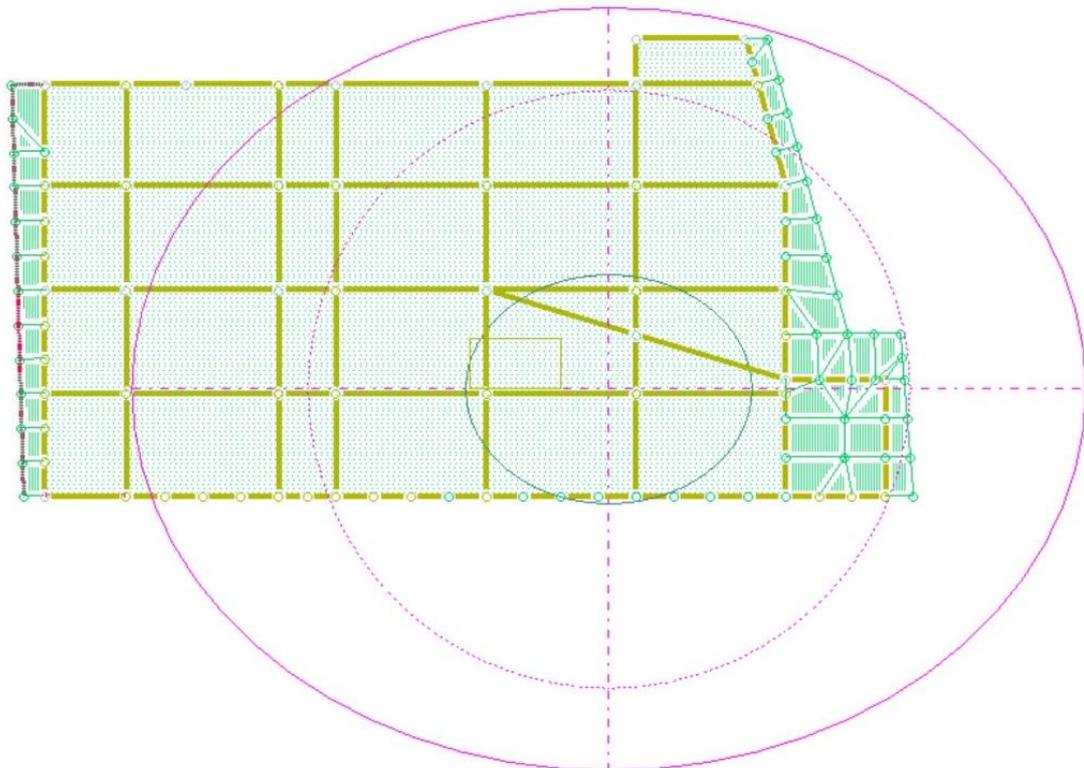


Figura 29– Centro delle masse e centro delle rigidezze, solaio quota 29,00 m.

4.6. VERIFICHE DI RESISTENZA

Le verifiche di sicurezza degli stati limite, per la costruzione in calcestruzzo armato oggetto di studio, sono state condotte nei confronti dello Stato Limite Ultimo. Nello specifico sono stati verificati il rispetto della resistenza flessionale, in presenza o meno di sforzo assiale a seconda che si tratti di travi o pilastri, e della resistenza a taglio.

La sicurezza strutturale in termini di resistenza viene verificata confrontando la capacità di progetto R_d della costruzione, con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d . [5]

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite SLU è stata svolta considerando le sollecitazioni derivate dall'Analisi Lineare Dinamica, con il Programma di Calcolo Strutturale CDM Dolmen.

L'equazione considerata è la seguente:

$$"R_d \geq E_d"^{26}$$

Utilizzando il metodo semiprobabilistico, sia la resistenza che le azioni di progetto sono funzione del loro valore caratteristico, tramite l'introduzione dei coefficienti parziali γ riferiti rispettivamente alla resistenza del materiale e alle azioni. [5]

La struttura, come già detto, è stata distinta in due conformazioni: in un caso considerando i soli carichi gravitazionali, che viene definito come "Caso Statico", e nell'altro con le azioni orizzontali sismiche, "Caso Sismico".

Con Dolmen è possibile estrarre una relazione che riporta le verifiche degli elementi strutturali per gli Stati Limite, e permette di consultare nelle sezioni notevoli i valori delle sollecitazioni interessate nella verifica che viene svolta.

²⁶ Capitolo2, Paragrafo 2.3., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

4.6.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI

Secondo le NTC 2018, nel caso di pressoflessione deviata la verifica della sezione viene effettuata come segue:

$$\left(\frac{M_{Ey_d}}{M_{Ry_d}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ez_d}}{M_{Rz_d}} \right)^\alpha \quad ^{27}$$

dove

- M_{Ey_d} , M_{Ez_d} sono i valori di progetto delle due componenti di pressoflessione retta attorno agli assi y e z;
- M_{Ry_d} , M_{Rz_d} sono i valori di progetto dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti a N_{Ed} valutati separatamente attorno agli assi y e z;
- α esponente che dipende dalla geometria della sezione. [5]

Le verifiche nelle sezioni vengono effettuate considerando i momenti sollecitanti e i momenti resistenti nelle due direzioni y e z riferiti alle 6 terne:

N_{min} , M_z , M_y

N_{max} , M_z , M_y

M_z min, N , M_y

M_z max, N , M_y

M_y min, N , M_z

M_y max, N , M_z

Nel caso della verifica a pressoflessione deviata dei pilastri con il Software, una volta estratta la relazione di report di tali elementi strutturali, si nota che ciascun pilastro viene suddiviso nel numero di aste con cui è stato modellato, e per ogni asta vengono riportate nelle sezioni al piede, in mezzera e in testa, una terna significativa di sforzo normale N_{Ed} , momento lungo x, che nel caso del programma viene indicato con M_{Edz} e momento lungo y, M_{Edy} .

In Dolmen vengono studiati sestetti di sollecitazione considerando anche i tagli V_{Edy} e V_{Edz} e il momento torcente, e riportati i valori di N_{Ed} , M_{Edy} e M_{Edz} relativi al sestetto più incisivo.

Nella struttura in esame il numero delle aste in cui è stato suddiviso ciascun pilastro varia tra 2 e 3, a seconda degli interpiani che competono al pilastro esaminato.

Di seguito vengono riportati alcuni pilastri, come esempio, di cui verrà riportata la tabella estrapolata da Dolmen, con i dati relativi a tutte le aste costituenti il pilastro in

²⁷ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.2.3.4.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018.

esame; si provvede poi a riportare i valori più significativi, che sono quelli al piede e in testa dell'intero pilastro.

Con le terne suddette, viene indicato per quale caso più incidente la sezione non è verificata; individuato il caso, mediante il comando *Edita Esistente*, vengono riportati i diagrammi di interazione del pilastro in esame per ogni caso, ma nel seguito riporteremo i diagrammi di interazione nei casi segnalati nella tabella di verifica.

CASO SISMICO

Per il “caso sismico” i casi di carico principali per le verifiche di resistenza sono il caso di carico 4 “SLU con sisma x principale” e 5 “SLU con sisma y principale”, vale a dire i casi di carico allo stato limite ultimo in cui l'azione sismica è combinata con i carichi verticali. Dolmen crea i casi di carico secondo quanto proposto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, per tutti gli stati limite. In totale sono stati creati 13 casi di carico.

CARATTERISTICHE DEI CASI DI CARICO CREATI Numero di casi di carico creati : **13**

R	Nome	Descrizione	Tipo Ver	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/>	1	SLU SENZA SISMA	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	2	SISMAX SLU	Altro	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	3	SISMAY SLU	Altro	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	4	SLU con SISMAX PRINC	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	5	SLU con SISMAY PRINC	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	6	SLD con SISMAX PRINC	SLD	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	7	SLD con SISMAY PRINC	SLD	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	8	SLU FON con SISMAX P	SLU Fondaz.	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	9	SLU FON con SISMAY P	SLU Fondaz.	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	10	SLUEqu	SLU EQU	Somma caratteristiche

Approcci NTC18

Approccio 1 Approccio 2

Usa per il calcolo

Vulner. SLU
Vulner. SLD
 Calcola a blocchi di:

Figura 30 – Caratteristiche dei casi di carico.

Nelle pagine seguenti si riportano alcuni pilastri significativi in modo completo; in particolare sono stati scelti quattro pilastri rappresentativi delle tipologie presenti nella struttura: due pilastri a sezione quadrata, entrambi di angolo, uno a sezione rettangolare e uno a sezione circolare.

In **Allegato A** sono riportate le Tabelle di verifica a pressoflessione per tutti i pilastri, ricavate dai risultati del Programma di calcolo.

PILASTRO P1

Il pilastro P1 ha sezione 40x40 cm, ed è armato con 8 ϕ 16 per i primi due livelli, e 8 ϕ 14 per l'ultimo livello, con staffe 8/20 per tutta l'altezza.

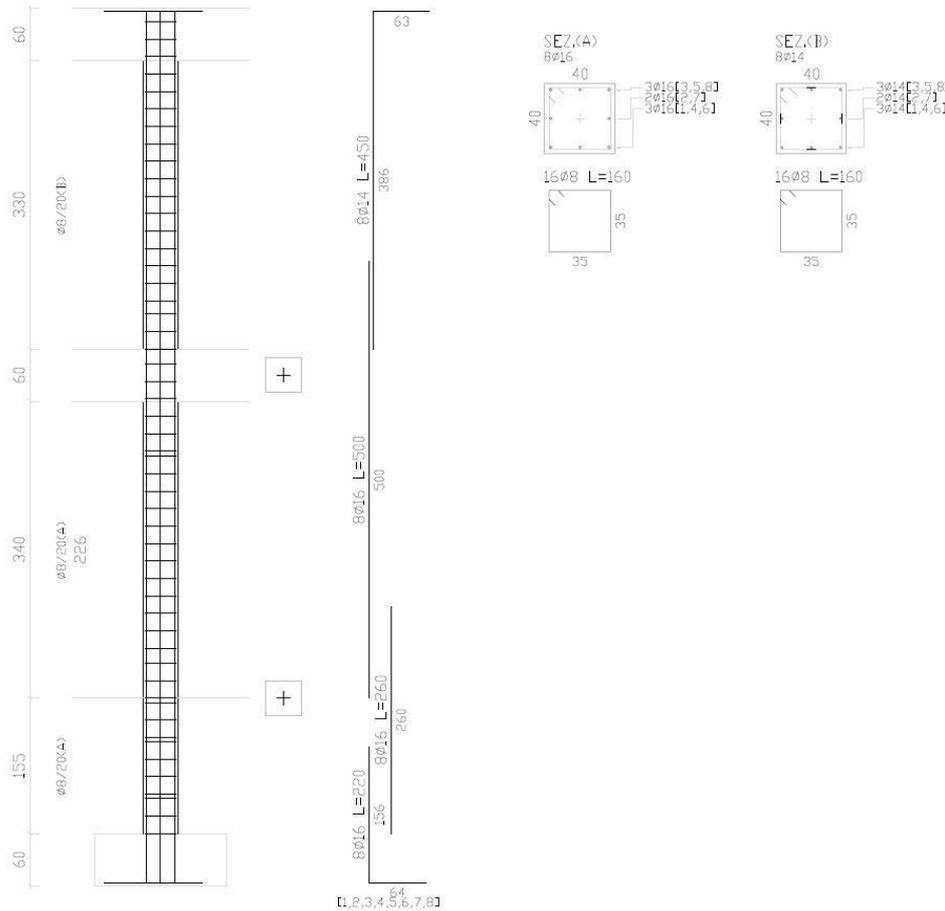


Figura 31 – Carpenteria pilastro P1.

Dalla relazione estratta dal Software di Calcolo Strutturale Dolmen per il pilastro P1, si nota che il Programma effettua la verifica alla testa, al piede e alla mezzeria di ogni asta di cui è composto il pilastro. La tabella che segue, estrapolata da Dolmen, permette di individuare che il caso di carico 5, corrispondente al caso “SLU con sisma x principale” comporta maggiori problematiche.

Alla colonna indicata con “VE”, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a pressoflessione, mentre la nota a destra di tale colonna riporta quali indicazioni da NTC2018 non sono rispettate.

Nel programma N_{Ed} è espresso in daN, mentre i momenti M_{Ed} sono espressi in daNcm.

PRESSO-FLESSIONE (inclusi imperfezioni e second'ordine):

Asta	Caso	NEd	MEyd	MEzd	E cls	Sc1s	E acc	Sacc	VE		
> 1	1- 1	-87563.	-227283.	8.45	-227283.	15.7	-.067	-78.4	-.013	-276.8	SI
	1 5- 1	-81556.	613000.	1.03	-184365.	1.03	-.088	-97.	.008	175.9	SI
	1 5- 1	-81246.	1452316.	1.06	-467010.	1.13	-.246	-141.1	.178	3731.7	SI
> 2	5- 1	-81246.	1810726.	1.32	-637436.	1.55	-.651	-261.6	.679	3952.6	NO 1
	2 1- 1	-86143.	-233946.	1.24	-113870.	1.24	-.059	-70.9	-.018	-381.1	SI
	2 5- 1	-79646.	-2282349.	1.3	527697.	1.63	-1.39	-556.	2.509	4099.5	NO 1
> 3	4- 3	-39248.	1614747.	1.17	1146803.	1.19	-2.8	-1122.	8.539	5602.8	NO 1
	3 5- 1	-38368.	-128604.	1.13	38598.	1.13	-.026	-34.6	-.008	-158.1	SI
	3 5- 2	-38492.	-2958818.	1.15	-480550.	1.28	-3.38	-1352.	18.98	12390.	NO 1

Tabella 16 - Verifica a pressoflessione deviata pilastro P1.

In questo caso la nota 1 indica che la Verifica presso-flessionale a SLU non è soddisfatta, secondo quanto riportato al Paragrafo 4.1.2.1.2.4 delle Norme Tecniche. Dall'editor del pilastro si ottiene una tabella riassuntiva di tutte le verifiche fondamentali, in cui vengono riportati i casi che non sono verificati, in questo caso, per la pressoflessione deviata, il 4 "SLU con sisma x principale" e il 5 "SLU con sisma y principale". Il Programma segnala anche il caso 1 "SLU senza sisma" al piede del pilastro, poiché i carichi gravitazionali sono di notevole entità.

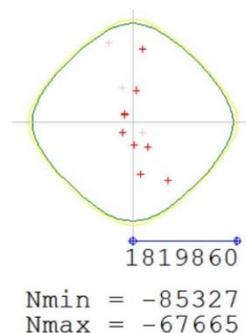
ASTA -->	1	2	3
SLU	SI	NO (4, 5)	NO (1, 4, 5)
ESERCIZIO	SI	SI	NO (11, 13)
TAGLIO	SI	SI	SI
MEd/MOEd	1.029 Y	1.226 Z	1.129 Y
% ARMATURE	SI 1.01	SI 1.01	SI 77
GENERALE	NO		

Tabella 17- Tabella di verifica pilastro P1.

Si procede estraendo i domini di interazione relativi al caso di carico 5, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

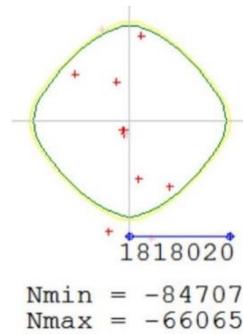
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 1819860$ daNcm=181,98 kNm.



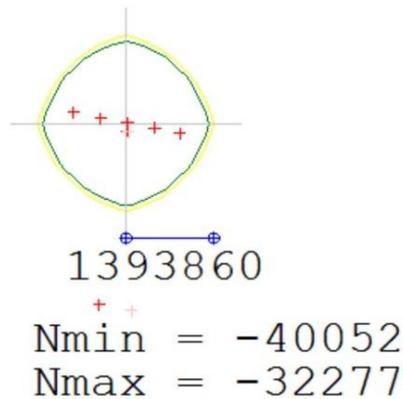
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0$ m e $z=4,00$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 1818020$ daNcm=181,80 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00$ m e $z=7,90$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 1393860$ daNcm=139,38 kNm.



Nella tabella seguente sono stati i valori significativi delle terne, relativi al piede e alla testa del pilastro:

P1							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-875.63	-22.72	182.62	-22.72	182.62	1	SI
7.90	-384.92	-295.88	139.38	-48.05	139.38	5	NO

La verifica a pressoflessione deviata per il pilastro P1 non è soddisfatta, in particolare il pilastro entra a rottura per pressoflessione in corrispondenza dei livelli rigidi.

PILASTRO P11

Il pilastro P11 ha sezione circolare, con diametro di 70 cm al primo piano e 60 cm al secondo piano; le armature longitudinali sono 12 ϕ 20 per i primi due livelli, e 8 ϕ 22 per l'ultimo livello, le armature trasversali sono barre 8/20, con passo costante in tutta l'altezza.

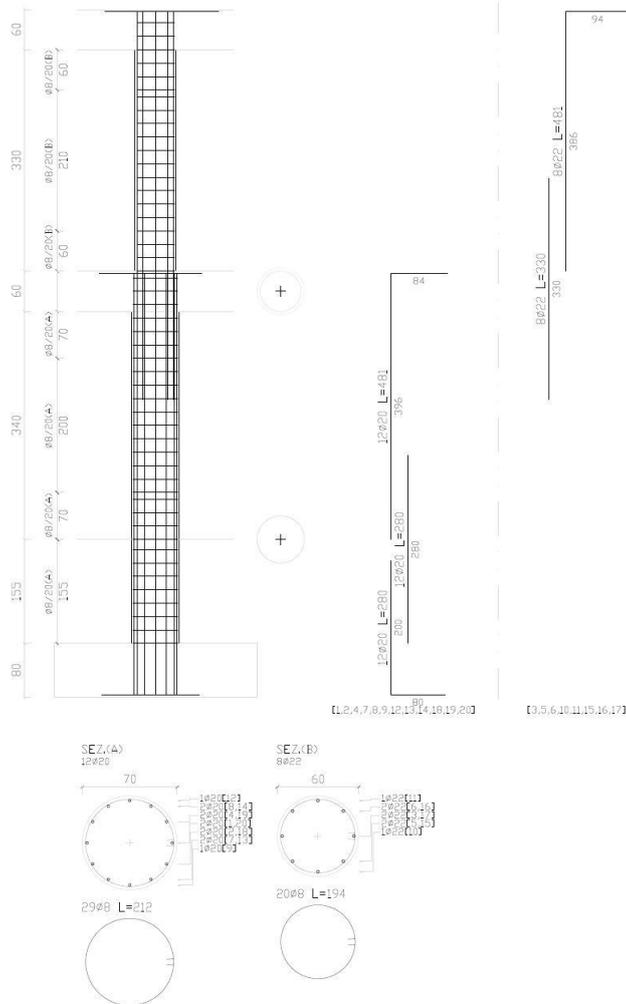


Figura 32 – Carpenteria pilastro P11.

La tabella che segue, estrapolata da Dolmen, permette di individuare che il caso di carico 5, corrispondente al caso “SLU con sisma x princ” comporta maggiori problematiche.

Alla colonna indicata con “VE”, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a pressoflessione, mentre la nota a destra di tale colonna riporta quali indicazioni da NTC2018 non sono rispettate.

Nel programma N_{Ed} è espresso in daN, mentre i momenti M_{Ed} sono espressi in daNcm.

PRESSO-FLESSIONE (inclusi imperfezioni e second'ordine):

Asta	Caso	NEd	MEyd	MEzd	E cls	Sc1s	E acc	Sacc	VE		
> 1	1- 1	-296647.	-1213537.	181.	-1213537.	6.86	-.083	-92.6	-.022	-471.3	SI
1	4- 4	-260251.	-680926.	1.02	1845199.	1.02	-.088	-96.7	-.011	-227.8	SI
1	4- 4	-259506.	-1880602.	1.1	4863151.	1.05	-.195	-141.	.099	2081.9	SI
> 2	4- 4	-259506.	-2301458.	1.34	5576411.	1.2	-.259	-141.1	.166	3476.2	SI
2	5- 4	-261430.	-1475317.	1.12	-699644.	1.12	-.08	-90.1	-.017	-351.4	SI
2	4- 4	-255657.	1378853.	2.27	-6903578.	1.18	-.5	-201.1	.404	3930.5	NO 1
> 3	4- 4	-138071.	-654309.	1.81	4572850.	1.15	-.614	-246.6	.734	3957.	NO 1
3	4- 4	-136693.	122556.	1.1	-558395.	1.1	-.05	-61.4	-.017	-354.4	SI
3	4- 4	-135315.	812649.	1.45	-5683795.	1.14	-1.47	-589.	3.489	4178.1	NO 1

Tabella 18 – Verifica a pressoflessione deviata pilastro P11.

In questo caso la nota 1 indica che la Verifica presso-flessionale a SLU non è soddisfatta, secondo quanto riportato al Paragrafo 4.1.2.1.2.4 delle Norme Tecniche. Dall'editor del pilastro si ottiene una tabella riassuntiva di tutte le verifiche fondamentali, in cui vengono riportati i casi che non sono verificati, in questo caso, per la pressoflessione deviata, il 4 “SLU con sisma x principale” e il 5 “SLU con sisma y principale”. Il Programma segnala anche il caso 1 “SLU senza sisma”, poiché i carichi gravitazionali sono di notevole entità.

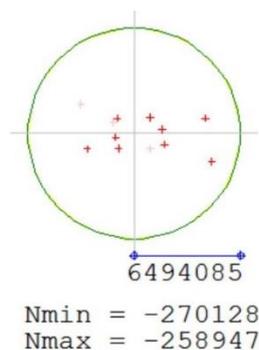
ASTA -->	1	2	3
SLU	SI	NO (4)	NO (4,5)
ESERCIZIO	SI	SI	NO (13)
TAGLIO	NO (4,5)	NO (4)	NO (4,5)
MEd/MOEd	1.016 Z	1.116 Z	1.102 Z
% ARMATURE	SI .98	SI .98	SI 1.08
GENERALE	NO		

Tabella 19– Tabella di verifica pilastro P1.

Si procede estraendo i domini di interazione relativi al caso di carico 4, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

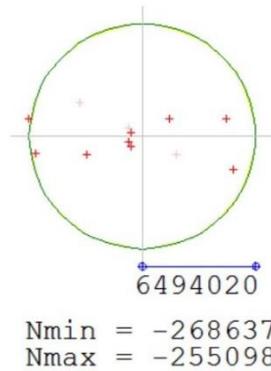
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd}=6494085$ daNcm=649,40 kNm.



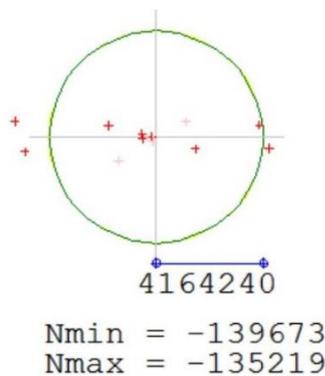
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0$ m e $z=4,00$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 6494085$ daNcm=649,40 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00$ m e $z=7,90$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 1393860$ daNcm=139,38 kNm.



Per semplicità, nel seguito, vengono riportati in una tabella i valori delle terne al piede e in testa del pilastro, come è stato fatto per i pilastri riportati in **Allegato A**:

P11							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2966.47	-121.35	634.6	-121.35	634.6	1	SI
7.90	-1353.15	81.26	416.42	-568.37	416.42	4	NO

La verifica a pressoflessione deviata per il pilastro P11 non è soddisfatta, ed anche in questo caso la rottura per pressoflessione è nel nodo in corrispondenza del primo piano rigido, a quota 25,10 m.

PILASTRO 17

Il pilastro P17 ha sezione 40x60 cm, ed è armato con ferri longitudinali 10 ϕ 18 per i primi due livelli, e 8 ϕ 16 per l'ultimo livello come nella figura seguente; ha staffe ϕ 8/20 per tutta l'altezza.

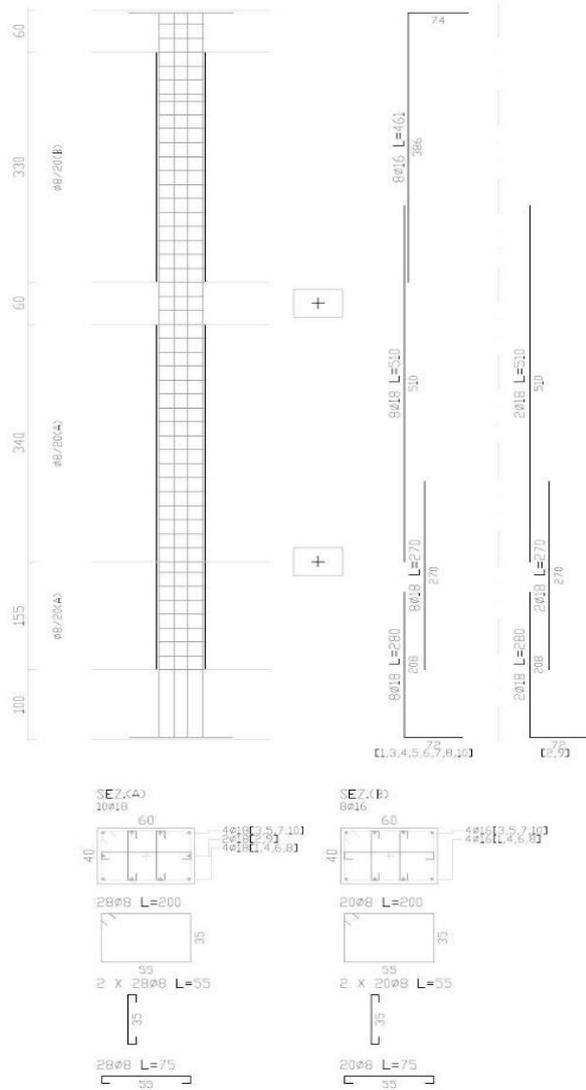


Figura 33– Carpenteria pilastro P17.

Dalla tabella che segue, estratta dal Software, si individua che i casi di carico 4 e 5 comportano maggiori problematiche.

Alla voce VE, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a pressoflessione.

PRESSO-FLESSIONE (inclusi imperfezioni e second'ordine):

Asta	Caso	NEd	MEyd	MEzd	E cls	Sc1s	E acc	Sacc	VE			
> 1	5- 4	-129668.	-461971.	3.62	-552279.	1.17	-.073	-84.2	-.006	-129.8	SI	
1	4- 4	-123311.	960632.	1.01	361694.	1.03	-.077	-88.	.001	28.6	SI	
1	4- 4	-122846.	2374209.	1.04	1043545.	1.09	-.197	-141.1	.122	2567.5	SI	
> 2	5- 4	-128738.	1015419.	1.34	2391126.	1.32	-.26	-141.1	.187	3913.1	SI	
2	5- 2	-115877.	-311702.	1.08	-555355.	1.19	-.064	-75.8	-.006	-128.	SI	
2	4- 4	-120446.	-3350193.	1.15	-1753161.	1.35	-.653	-262.3	.641	3949.5	NO	1
> 3	5- 4	-62320.	1823622.	1.13	2875172.	1.15	-2.61	-1045.	10.74	7031.6	NO	1
3	4- 4	-61016.	-137391.	1.08	-337551.	1.11	-.035	-44.8	-.003	-56.4	SI	
3	4- 4	-59846.	-2643517.	1.11	-2863767.	1.15	-3.25	-1301.	11.84	7746.	NO	1

Tabella 20– Verifica a pressoflessione deviata pilastro P16.

Dall’editor del pilastro si ottiene una tabella riassuntiva di tutte le verifiche fondamentali, in cui vengono riportati i casi che non sono verificati, in questo caso, per la pressoflessione deviata nel caso sismico, il 4 “SLU con sisma x princ” e il 5 “SLU con sisma y principale”:

ASTA -->	1	2	3
SLU	SI	NO (4, 5)	NO (1, 4, 5)
ESERCIZIO	SI	SI	NO (11, 13)
TAGLIO	SI	SI	SI
MEd/M0Ed	1.026 Z	1.198 Z	1.114 Z
% ARMATURE	SI 1.06	SI 1.06	SI .67
GENERALE	NO		

Tabella 21– Tabella di verifica pilastro P17.

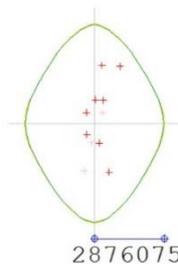
Di seguito si riportano i domini di interazione sia per il caso di carico 4 che per il caso di carico 5, poiché entrambi rilevanti.

Caso di carico 4 – SLU con sisma x principale

Asta 1

$$M_{Rdz}=287,60 \text{ kNm}$$

$$M_{Rdy}=410,69 \text{ kNm}$$



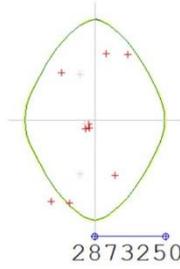
$$N_{min} = -128950$$

$$N_{max} = -119347$$

Asta 2

$M_{Rdz}=287,32 \text{ kNm}$

$M_{Rdy}=413,20 \text{ kNm}$

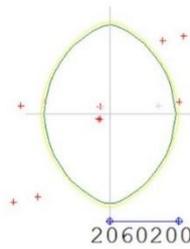


Nmin = -128020
Nmax = -116947

Asta 3

$M_{Rdz}=206,02 \text{ kNm}$

$M_{Rdy}=269,02 \text{ kNm}$



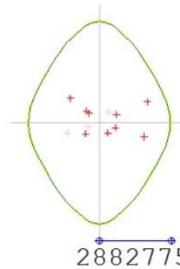
Nmin = -62186
Nmax = -54420

Caso di carico 5 – SLU con sisma y principale

Asta 1

$M_{Rdz}=288,27 \text{ kNm}$

$M_{Rdy}=409,97 \text{ kNm}$

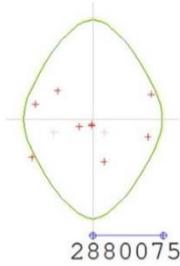


Nmin = -131220
Nmax = -117077

Asta 2

$M_{Rdz}=288,00 \text{ kNm}$

$M_{Rdy}=409,19 \text{ kNm}$

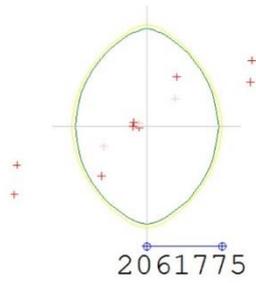


Nmin = -130290
Nmax = -114677

Asta 3

$$M_{Rdz}=206,17 \text{ kNm}$$

$$M_{Rdy}=268,84 \text{ kNm}$$



$$N_{min} = -62320$$
$$N_{max} = -54286$$

P17							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1296.68	-46.19	288.27	-55.22	409.97	5	SI
7.90	-598.46	-264.35	206.02	-286.37	269.02	4	NO

La verifica a pressoflessione deviata per il pilastro 17 non è soddisfatta; la rottura per pressoflessione interessa il pilastro in corrispondenza del primo e del secondo piano rigido.

CASO STATICO

Nel caso statico l'unico caso di carico considerato è il caso 1 "SLU senza sisma", in cui sono contenuti solo il peso proprio della struttura, i carichi permanenti e i carichi variabili computati per la costruzione.

Di seguito, a titolo esemplificativo, viene riportato in modo completo il pilastro P1, su cui vengono fatte considerazioni a confronto con il caso sismico, mentre le verifiche a pressoflessione per tutti i pilastri anche per il caso statico si trovano nella relativa tabella riportata in **Allegato A**.

PILASTRO P1

Dalla tabella che segue, estratta dal Software, si individua che per il caso di carico 1, "SLU senza sisma", il pilastro manifesta dei problemi in corrispondenza degli orizzontamenti al primo e secondo piano. Ciò è imputabile alle importanti sezioni delle travate che competono al pilastro in esame.

Alla voce VE, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a pressoflessione.

PRESSO-FLESSIONE (inclusi imperfezioni e second'ordine):

Asta	Caso	NEd	MEyd	MEzd	E cls	Sc ls	E acc	Sacc	VE			
> 1	1- 1	-126266.	-332254.	9.11	-332254.	16.1	-.104	-108.7	-.018	-375.9	SI	
1	1- 1	-125863.	127685.	1.05	72179.	1.05	-.07	-81.4	-.044	-925.8	SI	
1	1- 1	-125460.	361285.	1.29	330133.	2.08	-.106	-109.7	-.016	-337.3	SI	
> 2	1- 1	-125460.	621284.	2.21	579965.	3.65	-.148	-131.6	.015	322.7	SI	
2	1- 1	-124420.	-348406.	1.39	-183930.	1.39	-.093	-100.9	-.025	-516.5	SI	
2	1- 1	-123380.	-1314251.	1.68	-816067.	1.92	-.323	-141.1	.158	3314.6	SI	
> 3	1- 1	-60429.	2318187.	1.26	925515.	1.34	-3.	-1201.	10.81	7081.2	NO	1
3	1- 1	-59415.	-143389.	1.21	52357.	1.21	-.038	-48.3	-.015	-314.	SI	
3	1- 1	-58401.	-2601787.	1.25	-817623.	1.36	-3.28	-1312.	13.53	8845.7	NO	1

Tabella 22– Verifica a pressoflessione deviata pilastro P1.

Dall'editor del pilastro si ottiene una tabella riassuntiva di tutte le verifiche fondamentali, in cui vengono riportati i casi che non sono verificati.

In questo caso, come visto, per la pressoflessione deviata nel caso statico, il caso 1 comporta la mancata verifica.

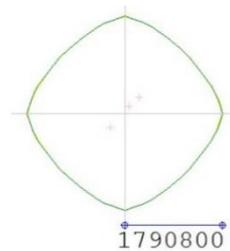
ASTA -->	1	2	3
SLU	SI	SI	NO (1)
ESERCIZIO	SI	SI	NO (2, 4)
TAGLIO	SI	SI	SI
MEd/M0Ed	1.046 Z	1.387 Z	1.205 Y
% ARMATURE	SI 1.01	SI 1.01	SI .77
GENERALE	NO		

Tabella 23– Tabella di verifica pilastro P1.

Di seguito si riportano i domini di interazione per il caso di carico 1.

Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 1790800$ daNcm.

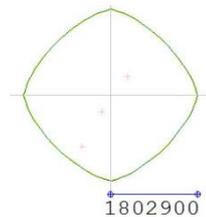


$$N_{\min} = -126266$$

$$N_{\max} = -125460$$

Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0$ m e $z=4,00$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 1802900$ daNcm=649,40 kNm.

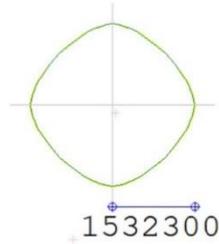


$$N_{\min} = -125460$$

$$N_{\max} = -123380$$

Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00$ m e $z=7,90$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd}=1532300$ daNcm= $139,38$ kNm.



$$N_{\min} = -60429$$
$$N_{\max} = -58401$$

P1							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1262.66	-33.22	179.08	-33.22	179.08	1	SI
7.90	-584.01	-260.17	152.17	-81.76	153.23	1	NO

La verifica a pressoflessione deviata per il pilastro 1 non è soddisfatta neanche per il caso statico. Come si può notare, confrontando lo studio di questo pilastro per il caso statico e per il caso sismico, gli sforzi normali nel caso statico aumentano, mentre gli sforzi di flessione diminuiscono rispetto al caso sismico, anche se sono pressoché paragonabili.

Questa valutazione può essere confermata per ogni pilastro, in Allegato A, ed è una situazione attesa che conferma la corretta modellazione e il comportamento che ci si aspetta. L'effetto delle azioni sismiche orizzontali infatti incrementa i momenti sollecitanti nei pilastri, compensato da una diminuzione degli sforzi normali.

4.6.2. VERIFICA A TAGLIO DEI PILASTRI (SLU)

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, la verifica di resistenza a taglio SLU, per elementi con armature trasversali resistenti a taglio viene svolta con la seguente formula:

$$"V_{Rd} \geq V_{Ed}"^{28}$$

dove

V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente;

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd}). [5]$$

Nel caso della verifica di resistenza a taglio dei pilastri utilizzando il Software CDM Dolmen, una volta estratta la relazione di report di tali elementi strutturali, si nota che ciascun pilastro viene suddiviso nel numero di aste con cui è stato modellato, e per ogni asta vengono riportate lungo le direzioni y e z nelle sezioni al piede, in mezzeria e in testa, i valori che seguono:

V_{Ed} , taglio di progetto agente nella direzione indicata;

V_{Rd} , resistenza di progetto a taglio;

V_{Rsd} , resistenza di progetto a "taglio trazione";

V_{Rcd} , resistenza di progetto a "taglio compressione";

A_{sw} , area dell'armatura trasversale;

s, passo dell'armatura trasversale.

Nel caso di elementi con armature trasversali a taglio, l'inclinazione Θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$"1 \leq \text{ctg}\Theta \leq 2,5"^{29}$$

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$"V_{Rsd} = 0,9 d A_{sw}/s f_{yd} (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\Theta) \text{sen}\alpha"^{30}$$

²⁸ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.2.3.5.2, Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

²⁹ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.2.3.5.2, Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

³⁰ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.2.3.5.2, Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0,9 d b_w \alpha_c v f_{cd} (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta) \text{ }^{31}$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

d, altezza utile della sezione;

b_w , larghezza minima della sezione;

σ_{cp} , tensione media di compressione nella sezione;

A_{sw} , area armatura trasversale;

s, interasse tra due armature trasversali;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

v f_{cd} , resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($v = 0,5 f_{cd}$);

α_c , coefficiente maggiorativo ($\alpha_c = 1$). [5]

Per alcuni pilastri, come esempio, verrà riportata la tabella estrapolata da Dolmen, con i dati relativi a tutte le aste costituenti il pilastro esaminato; in **Allegato A** sono riportate le tabelle con i valori più significativi, che sono quelli al piede e in testa dell'intero pilastro.

³¹ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.2.3.5.2, Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

CASO SISMICO

PILASTRO 1

Dalla relazione estratta dal Software di Calcolo Strutturale Dolmen, andando ad estrapolare il Pilastro P1, si ottiene la tabella in cui sono riportati lungo y e lungo z, il taglio agente, la resistenza a taglio-trazione e a taglio-compressione per le aste in cui è suddiviso il pilastro.

Nella tabella sono indicati i casi di carico più critici; lungo y il caso più sollecitante è caso di carico 4, corrispondente al caso “SLU con sisma y principale”, mentre lungo z è il caso di carico 5 “SLU con sisma x principale”.

Alla voce VE, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a taglio o che non rispettano i minimi normativi richiesti dalle Norme vigenti; a fianco della colonna di verifica sono indicate le note che specificano le problematiche segnalate nella sezione.

Nel programma gli sforzi di taglio V sono espressi in daN.

TAGLIO Y:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE	
1 I	4- 4	8081.8	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
1 C	4- 4	8081.8	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
1 S	4- 4	8081.8	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 I	4- 4	-6246.7	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 C	4- 4	-6246.7	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
2 S	4- 4	-6246.7	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
3 I	4- 4	-5494.5	24229.9	24229.9	37298.2	1.51	20.	2.5	NO	10
3 C	4- 4	-5494.5	16153.2	16153.2	37187.8	1.01	20.	2.5	NO	10
3 S	4- 4	-5494.5	24229.9	24229.9	37077.3	1.51	20.	2.5	NO	10

Tabella 24- Verifica a taglio lungo y del pilastro P1.

TAGLIO Z:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE	
1 I	5- 1	-9979.8	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
1 C	5- 1	-9979.8	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
1 S	5- 1	-9979.8	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 I	5- 1	7812.1	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 C	5- 1	7812.1	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
2 S	5- 1	7812.1	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
3 I	5- 1	13054.5	24229.9	24229.9	37509.5	1.51	20.	2.5	NO	10
3 C	5- 1	13054.5	16153.2	16153.2	37399.1	1.01	20.	2.5	NO	10
3 S	5- 1	13054.5	24229.9	24229.9	37288.6	1.51	20.	2.5	NO	10

Tabella 25- Verifica a taglio lungo z del pilastro P1.

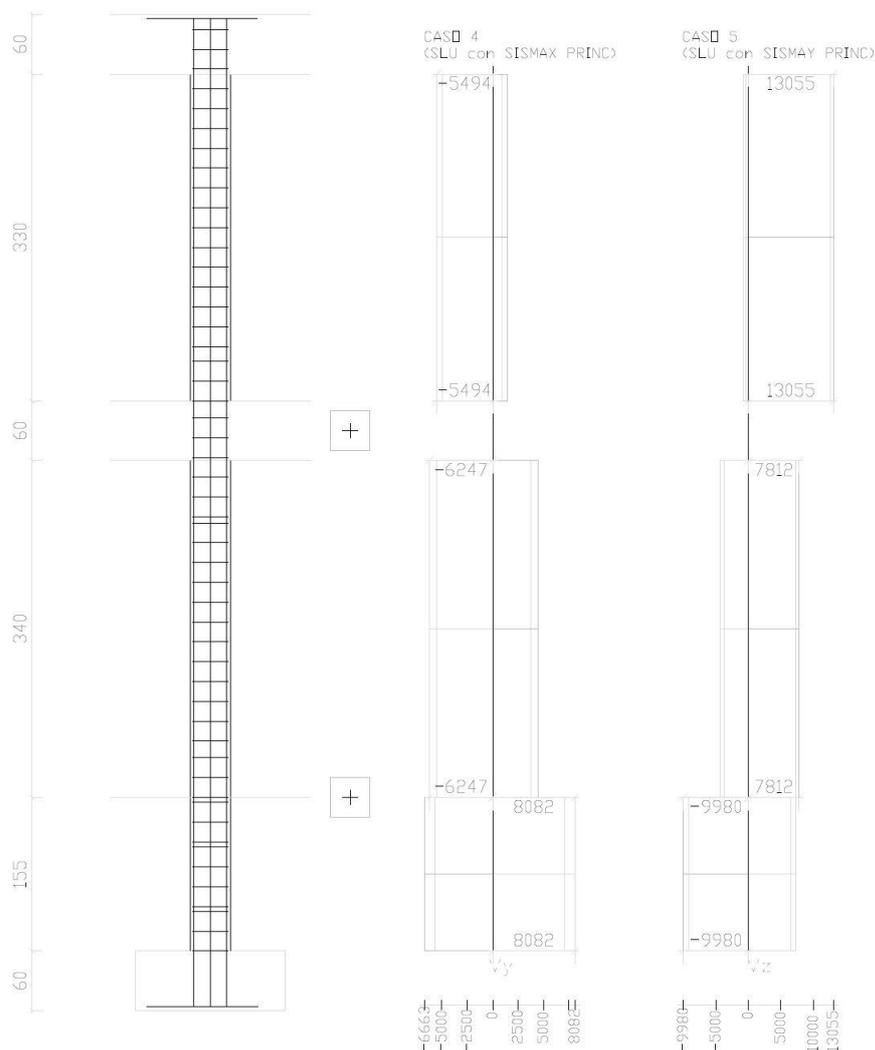


Figura 34 – Diagrammi delle sollecitazioni V_{Edy} e V_{Edz} per il caso 4 e 5, pilastro P1.

La verifica di resistenza a taglio lungo y e lungo z è soddisfatta, ma il passo staffe non risulta sufficiente, secondo quanto riportato nelle NTC 2018 infatti *“le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l’armatura longitudinale, con un massimo di 250 mm”*.³²

Nel seguito la tabella rielaborata dei risultati:

P1						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	80.82	242.30	242.30	383.60	4	SI
7.90	-54.95	242.30	242.30	370.77	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-99.80	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.90	130.55	242.30	242.30	372.89	5	SI

³² Capitolo 4, Paragrafo 4.1.6.1.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

PILASTRO 11

Nella tabella relativa al pilastro P11 si individua che lungo y il caso più sollecitante è il caso di carico 4, corrispondente al caso “SLU con SISMA Y PRINC”, mentre lungo z è il caso di carico 5 “SLU con SISMA X PRINC”.

Alla voce VE, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a taglio o che non rispettano i minimi normativi richiesti dalle Norme vigenti; a fianco della colonna di verifica sono indicate le note che specificano le problematiche segnalate nella sezione.

Nel programma gli sforzi di taglio V sono espressi in daN.

TAGLIO Y:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE	
1 I	4- 4	36589.	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
1 C	4- 4	36589.	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
1 S	4- 4	36589.	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
2 I	4- 4	-26243.	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
2 C	4- 4	-26243.	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
2 S	4- 4	-26243.	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
3 I	4- 4	-22951.8	19454.7	19454.7	62369.8	1.01	20.	2.5	NO	7
3 C	4- 4	-22951.8	19454.7	19454.7	62369.8	1.01	20.	2.5	NO	7
3 S	4- 4	-22951.8	19454.7	19454.7	62369.8	1.01	20.	2.5	NO	7

Tabella 26– Verifica a taglio lungo y del pilastro P11.

TAGLIO Z:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE	
1 I	5- 1	-31955.9	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
1 C	5- 1	-31955.9	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
1 S	5- 1	-31955.9	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	NO	7
2 I	5- 1	14269.7	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	SI	
2 C	5- 1	14269.7	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	SI	
2 S	5- 1	14269.7	22862.4	22862.4	85510.2	1.01	20.	2.5	SI	
3 I	5- 1	8709.3	19454.7	19454.7	62369.8	1.01	20.	2.5	SI	
3 C	5- 1	8709.3	19454.7	19454.7	62369.8	1.01	20.	2.5	SI	
3 S	5- 1	8709.3	19454.7	19454.7	62369.8	1.01	20.	2.5	SI	

Tabella 27– Verifica a taglio lungo z del pilastro P11.

Secondo quanto indicato nella nota 7, la verifica di resistenza a taglio lungo y e lungo z non è soddisfatta, secondo le Norme attuali.

Il valore di progetto del taglio è conferito dalla resistenza a taglio trazione V_{RSD} poiché risulta inferiore a quella di taglio compressione V_{RCD} ; sapendo che il taglio trazione è calcolato con riferimento all’armatura trasversale, la problematica risiede nel quantitativo di armatura e non nel volume di calcestruzzo d’anima. [5]

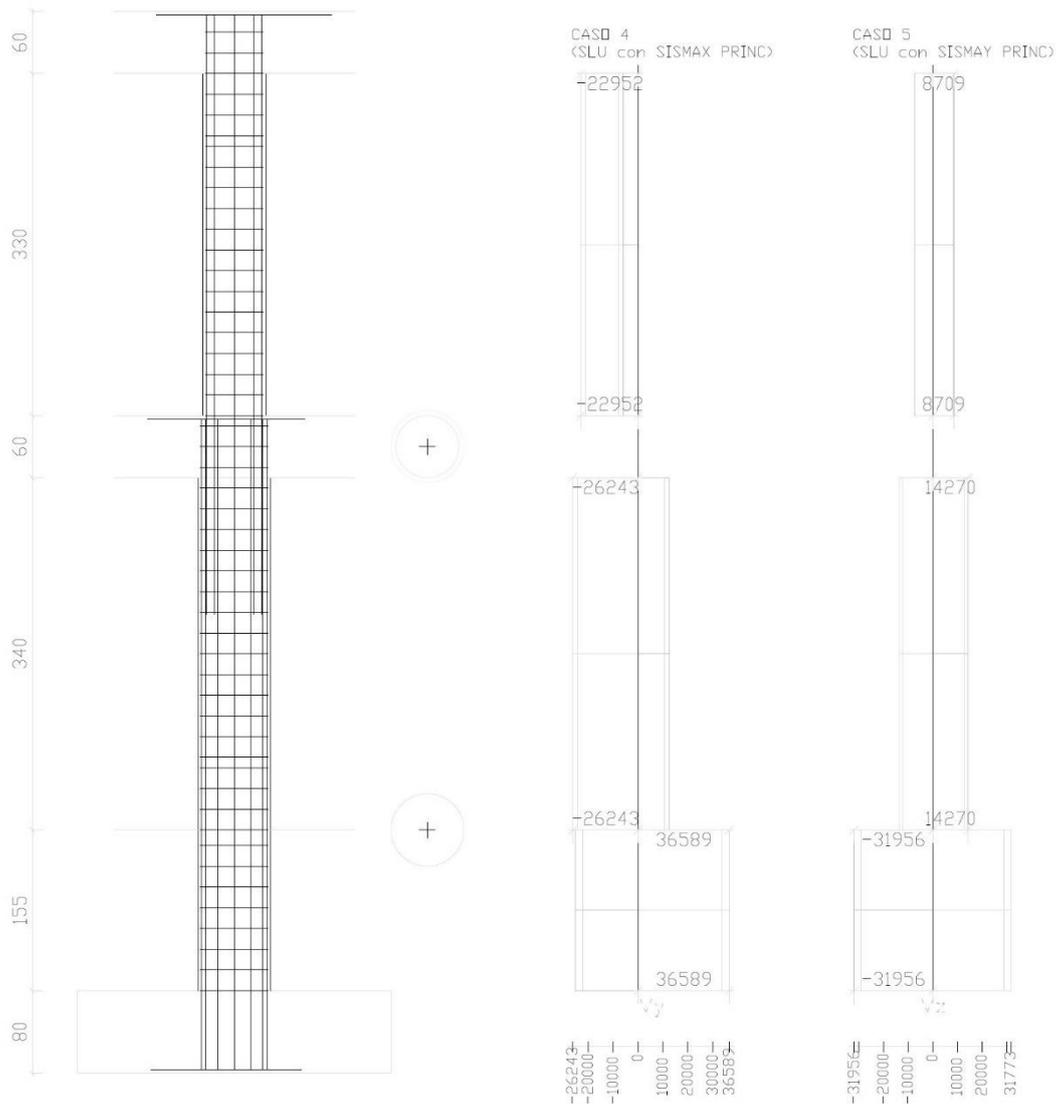


Figura 35 – Diagrammi delle sollecitazioni $V_{E dy}$ e $V_{E dz}$ per il caso 4 e 5, pilastro P11.

La verifica di resistenza a taglio del pilastro 11 non è soddisfatta; nel seguito è riportata la tabella rielaborata dei risultati.

P11						
z [m]	$V_{E dy}$ [kN]	$V_{R dy}$ [kN]	$V_{R s dy}$ [kN]	$V_{R c dy}$ [kN]	Caso	Verifica
0.00	365.89	228.62	228.62	855.10	4	NO
7.90	-229.52	194.55	194.55	623.70	4	NO
z [m]	$V_{E dz}$ [kN]	$V_{R dz}$ [kN]	$V_{R s dz}$ [kN]	$V_{R c dz}$ [kN]	Caso	Verifica
0.00	-319.56	228.62	228.62	855.10	5	NO
7.90	87.09	194.55	194.55	623.70	5	SI

PILASTRO 17

Nella tabella relativa al pilastro P17 si individua che lungo y il caso più sollecitante è il caso di carico 5, corrispondente al caso “SLU con sisma x principale”, mentre lungo z è il caso di carico 4 “SLU con sisma y principale”.

Alla voce VE, verifica, vengono individuate le sezioni che non soddisfano la verifica a taglio o che non rispettano i minimi normativi richiesti dalle Norme vigenti; a fianco della colonna di verifica sono indicate le note che specificano le problematiche segnalate nella sezione.

Nel programma gli sforzi di taglio V sono espressi in daN.

Taglio lungo y

TAGLIO Y:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE
1 I	5-4	14681.6	32306.5	32306.5	57539.6	2.01	20.	2.5	SI
1 C	5-4	14681.6	32306.5	32306.5	57539.6	2.01	20.	2.5	SI
1 S	5-4	14681.6	32306.5	32306.5	57539.6	2.01	20.	2.5	SI
2 I	5-4	-9204.5	32306.5	32306.5	57539.6	2.01	20.	2.5	SI
2 C	5-4	-9204.5	32306.5	32306.5	57539.6	2.01	20.	2.5	SI
2 S	5-4	-9204.5	32306.5	32306.5	57539.6	2.01	20.	2.5	SI
3 I	5-4	-14553.	32306.5	32306.5	56773.9	2.01	20.	2.5	NO 10
3 C	5-4	-14553.	32306.5	32306.5	56608.2	2.01	20.	2.5	NO 10
3 S	5-4	-14553.	32306.5	32306.5	56442.6	2.01	20.	2.5	NO 10

Tabella 28– Verifica a taglio lungo y del pilastro P17.

Taglio lungo z

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE
1 I	4-3	-17536.9	37506.5	37506.5	59378.8	1.51	20.	2.5	SI
1 C	4-3	-17536.9	37506.5	37506.5	59378.8	1.51	20.	2.5	SI
1 S	4-3	-17536.9	37506.5	37506.5	59378.8	1.51	20.	2.5	SI
2 I	4-3	13262.6	37506.5	37506.5	59378.8	1.51	20.	2.5	SI
2 C	4-3	13262.6	37506.5	37506.5	59378.8	1.51	20.	2.5	SI
2 S	4-3	13262.6	37506.5	37506.5	59378.8	1.51	20.	2.5	SI
3 I	4-4	11504.4	37506.5	37506.5	58569.	1.51	20.	2.5	NO 10
3 C	4-4	11504.4	37506.5	37506.5	58398.1	1.51	20.	2.5	NO 10
3 S	4-4	11504.4	37506.5	37506.5	58227.1	1.51	20.	2.5	NO 10

Tabella 29– Verifica a taglio lungo z del pilastro P17.

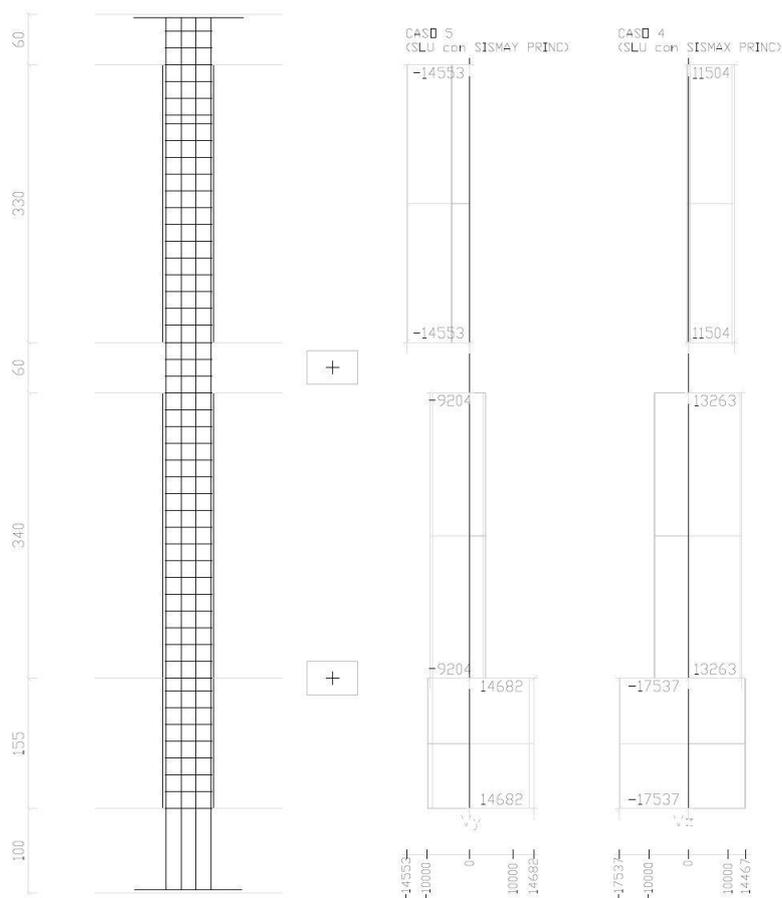


Figura 36 – Diagrammi delle sollecitazioni $V_{E_{dy}}$ e $V_{E_{dz}}$ per il caso 5 e 4, pilastro P17.

La verifica di resistenza a taglio lungo y e lungo z è soddisfatta, ma il passo staffe non risulta sufficiente, secondo quanto riportato nelle NTC 2018 infatti “*le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l’armatura longitudinale, con un massimo di 250 mm*”.³³

P17						
z [m]	$V_{E_{dy}}$ [kN]	$V_{R_{dy}}$ [kN]	$V_{R_{sdy}}$ [kN]	$V_{R_{edy}}$ [kN]	Caso	Verifica
0.00	146.81	323.06	323.06	575.39	5	SI
7.90	-145.53	323.06	323.06	575.39	5	SI
z [m]	$V_{E_{dz}}$ [kN]	$V_{R_{dz}}$ [kN]	$V_{R_{sdz}}$ [kN]	$V_{R_{edz}}$ [kN]	Caso	Verifica
0.00	-175.36	375.06	375.06	593.78	4	SI
7.90	115.04	375.06	375.06	593.78	4	SI

In **Allegato A** sono riportate le tabelle relative alle verifiche di resistenza a taglio per tutti i pilastri, nel caso sismico.

³³ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.6.1.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

CASO STATICO

A titolo esemplificativo viene riportato in modo completo un solo pilastro, mentre le verifiche a pressoflessione per tutti i pilastri anche per il caso statico si trovano nella relativa tabella riportata in **Allegato A**.

PILASTRO 1

Nella tabella relativa al pilastro P1 si individua può constatare che la verifica di resistenza a taglio è soddisfatta, mentre la nota 10 alla testa del pilastro, segnala un passo staffe insufficiente, secondo le NTC2018, Paragrafo 4.1.6.1.2.

Nel programma gli sforzi di taglio V sono espressi in daN.

Taglio lungo y

TAGLIO Y:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE	10
1 I	1- 1	1156.8	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
1 C	1- 1	1156.8	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
1 S	1- 1	1156.8	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 I	1- 1	-1456.6	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 C	1- 1	-1456.6	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
2 S	1- 1	-1456.6	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
3 I	1- 1	-3312.	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
3 C	1- 1	-3312.	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
3 S	1- 1	-3312.	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10

Tabella 30– Verifica a taglio lungo y del pilastro P1.

Taglio lungo z

TAGLIO Z:

Asta	Caso	VEd	VRd	VRsd	VRcd	Asw	s	ctgT	VE	10
1 I	1- 1	-2046.4	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
1 C	1- 1	-2046.4	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
1 S	1- 1	-2046.4	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 I	1- 1	2659.7	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
2 C	1- 1	2659.7	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
2 S	1- 1	2659.7	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
3 I	1- 1	10069.9	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10
3 C	1- 1	10069.9	16153.2	16153.2	38359.7	1.01	20.	2.5	NO	10
3 S	1- 1	10069.9	24229.9	24229.9	38359.7	1.51	20.	2.5	NO	10

Tabella 31– Verifica a taglio lungo z del pilastro P1.

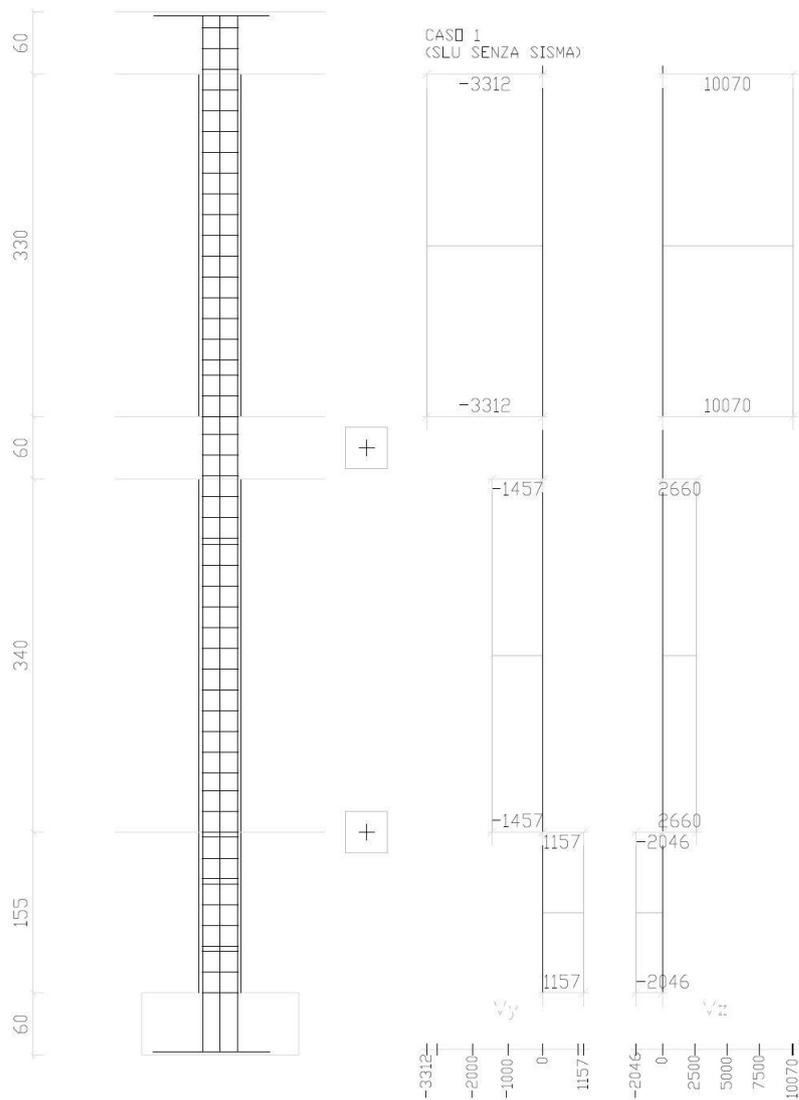


Figura 37 – Diagrammi delle sollecitazioni V_{yED} V_{zED} caso di carico 1, pilastro P1.

Nel caso statico la verifica di resistenza a taglio lungo y e lungo z è soddisfatta, ma il passo staffe non risulta sufficiente, secondo quanto riportato nelle NTC 2018 infatti *“le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l’armatura longitudinale, con un massimo di 250 mm”*.³⁴

Questa problematica nel pilastro 1 era già stata individuata per le sollecitazioni relative al caso sismico, dove le sollecitazioni di taglio agente risultano più elevate a causa delle azioni sismiche.

³⁴ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.6.1.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

Nella tabella che segue è riportata la verifica a taglio, rielaborata dalle tabelle estrapolate dal Programma.

P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdv} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	11.56	242.30	242.30	383.60	1	SI
7.90	-33.12	242.30	242.30	370.77	1	SI
z [m]	V _{Ed} [N]	V _{Rd} [N]	V _{Rsd} [N]	V _{Rcd} [N]	Caso	Verifica
0.00	-20.46	242.30	242.30	383.60	1	SI
7.90	100.69	242.30	242.30	383.60	1	SI

A seguito delle verifiche svolte per i pilastri è possibile fare alcune considerazioni riguardo al confronto tra le verifiche svolte per il caso statico e quelle svolte per il caso sismico.

Nel caso delle verifiche a flessione per i pilastri, possiamo constatare che le sollecitazioni di momento sono pressoché paragonabili, mentre lo sforzo normale aumenta notevolmente nel caso statico.

Nella maggior parte dei pilastri la verifica nel caso statico e nel caso sismico è coerente; questo perché la struttura è caratterizzata da carichi gravitazionali molto elevati, in particolare il peso proprio degli elementi ha una influenza notevole anche nel caso sismico.

Considerare un fattore di struttura $q=1,5$ è stata un'assunzione a favore di sicurezza per il calcolo delle sollecitazioni della struttura, poiché è stato ipotizzato un comportamento non dissipativo del fabbricato, quindi le sollecitazioni stimate sono molto più consistenti; i pilastri in particolare sono stati così assunti fragili, a discapito del rispetto della Gerarchia delle Resistenze prevista dalla Normativa attuale. Questo giustifica a maggior ragione un caso statico già gravoso di per sé.

Anche per le verifiche a taglio il comportamento dei pilastri è molto simile nei due casi; il sisma aggrava le sollecitazioni di taglio agenti sui pilastri.

Dalle verifiche svolte si può osservare che la struttura presenta problemi di resistenza nei nodi in corrispondenza delle teste dei pilastri e i due orizzontamenti, sia nel caso statico che nel caso sismico.

Nelle tabelle riportate nelle pagine seguenti, vengono riportate i confronti di due pilastri significativi per le considerazioni tratte, per entrambi i casi di carico, per visualizzare meglio questo comportamento.

PILASTRO P1

Verifica a Pressoflessione

CASO SISMICO							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-875.63	-22.72	182.62	-22.72	182.62	1	SI
7.90	-384.92	-295.88	139.38	-48.05	139.38	5	NO
CASO STATICO							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1262.66	-33.22	179.08	-33.22	179.08	1	SI
7.90	-584.01	-260.17	152.17	-81.76	153.23	1	NO

Tabella 32 – Verifica a flessione caso sismico e caso statico, pilastro 1.

Verifica a Taglio

CASO SISMICO							
P1							
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica	
0.00	80.82	242.30	242.30	383.60	4	SI	
7.90	-54.95	242.30	242.30	370.77	4	SI	
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica	
0.00	-99.80	242.30	242.30	383.60	5	SI	
7.90	130.55	242.30	242.30	372.89	5	SI	
CASO STATICO							
P1							
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica	
0.00	11.56	242.30	242.30	383.60	1	SI	
7.90	-33.12	242.30	242.30	370.77	1	SI	
z [m]	V _{Ed} [N]	V _{Rd} [N]	V _{Rsd} [N]	V _{Red} [N]	Caso	Verifica	
0.00	-20.46	242.30	242.30	383.60	1	SI	
7.90	100.69	242.30	242.30	383.60	1	SI	

Tabella 33 – Verifica a taglio caso sismico e caso statico, pilastro 1.

PILASTRO P11

Verifica a Pressoflessione

CASO SISMICO							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2966.47	-121.35	634.6	-121.35	634.6	1	SI
7.90	-1353.15	81.26	416.42	-568.37	416.42	4	NO
CASO SISMICO							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4275.3	-176.3	506.53	-176.3	506.53	1	SI
7.90	-2292.13	-116.45	400.93	-647.43	400.93	1	NO

Tabella 34 – Verifica a flessione caso sismico e caso statico, pilastro 11.

Verifica a Taglio

CASO SISMICO						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdv} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	365.89	228.62	228.62	855.10	4	NO
7.90	-229.52	194.55	194.55	623.70	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-319.56	228.62	228.62	855.10	5	NO
7.90	87.09	194.55	194.55	623.70	5	SI
CASO STATICO						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdv} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	85.70	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.90	-234.84	194.54	194.54	623.69	1	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-5.29	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.90	12.53	194.54	194.54	623.69	1	SI

Tabella 35 – Verifica a taglio caso sismico caso statico, pilastro 11.

4.6.3. VERIFICA A FLESSIONE E A TAGLIO DELLE TRAVI (SLU)

Si procede con le verifiche delle travi allo stato limite ultimo SLU, seguendo il metodo proposto dal Software di Calcolo Strutturale CDM Dolmen; nel caso delle travi la verifica è relativa al solo caso statico.

Per la verifica di resistenza a flessione, Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni DM 19 gennaio 2018, si verifica che la capacità in ogni sezione sia superiore o uguale alla domanda [5]:

$$“M_{RD} \geq M_{ED}”^{35}$$

dove

M_{Ed} , momento sollecitante;

M_{Rd} , momento resistente.

Nel caso della verifica a flessione delle travi utilizzando il Software, una volta estratta la relazione di report di tali elementi strutturali, si nota che ogni elemento viene suddiviso in un numero di aste definite “progressive”, individuate in base alle sollecitazioni di entità notevole agenti sulle sezioni, e per ogni sezione vengono riportati i valori di momento sollecitante M_{Ed} e momento resistente M_{Rd} , viene indicato il soddisfacimento o meno della verifica, e vengono riportate note che indicano se la verifica di resistenza non è soddisfatta, o se non sono soddisfatte le prescrizioni normative attuali.

La verifica di resistenza a taglio di elementi con armature trasversali resistenti al taglio è analoga a quanto visto per i pilastri, come riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. [5]

La resistenza di progetto a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati.

La verifica di resistenza (SLU) viene valutata ponendo:

$$“V_{Rd} \geq V_{Ed}”^{36}$$

Dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente e V_{RD} è il minore tra il “taglio trazione” e il “taglio compressione” che si calcolano come visto al Paragrafo 4.6.1. per i pilastri. [5]

³⁵ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.6.1.2., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

³⁶ Capitolo 4, Paragrafo 4.1.2.3.5.2, Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

La verifica per le travi inizialmente è stata condotta per il caso statico, poiché inizialmente è stato ritenuto che il sisma potesse avere poca influenza per le travi. È stato poi studiato anche il caso sismico, e si è potuto notare che alcune travi che nel caso statico risultano verificate, non lo sono per il caso sismico, soprattutto per le sezioni in corrispondenza degli appoggi.

Questo è riconducibile al fatto che il sisma ha alterato la gerarchia delle Resistenze, comportando la mancanza di verifica anche delle travi.

CASO STATICO

A titolo esemplificativo vengono riportate in modo completo alcune travi significative, mentre tutte le tabelle relative alle verifiche delle travi si trovano in **Allegato A**.

SOLAIO QUOTA 25,10 m

TRAVATA 3

La travata 3 ha sezione 150x60cm, ed è armata come nell'immagine che segue. Dalla relazione estratta dal Software di Calcolo Strutturale Dolmen, al fine di effettuare la verifica a flessione, si ottiene la tabella da cui è possibile individuare il rapporto M_{RD}/M_{ED} che deve essere maggiore di 1. Di seguito la tabella della verifica a flessione, rielaborata sulla base dei risultati ottenuti da Dolmen.

TRAVATA 3			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.80	-125.12	-2063.66	16.49
8.81	577.66	2032.37	3.52
18.67	18.41	1512.82	82.17

Tabella 36 – Verifica a flessione della Travata 3.

La verifica a flessione è soddisfatta ma nelle note è evidenziato che l'armatura inferiore compressa è insufficiente, e non rispetta i minimi di percentuale di armatura.³⁷

Per la verifica a taglio viene riportata la tabella rielaborata sulla base di quella estrapolata dal Software, in cui sono riportati i valori del taglio agente, V_{Sd} , il taglio

³⁷ Capitolo 7, Paragrafo 7.4.6.2.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

trazione e il taglio compressione, al fine di ottenere il taglio resistente V_{Rd} come minore tra i due.

TRAVATA 3				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.60	-997.87	2 032.49	2 032.49	2 061.20
12.15	172.55	2 494.78	2 494.78	2 524.33
19.45	386.20	2 290.88	2 290.88	2 306.76

Tabella 37 – Verifica di resistenza a taglio della Travata 3.

La verifica a taglio è soddisfatta, ma nelle note riportate sul Programma che il passo staffe è superiore al 25% della altezza utile.³⁸

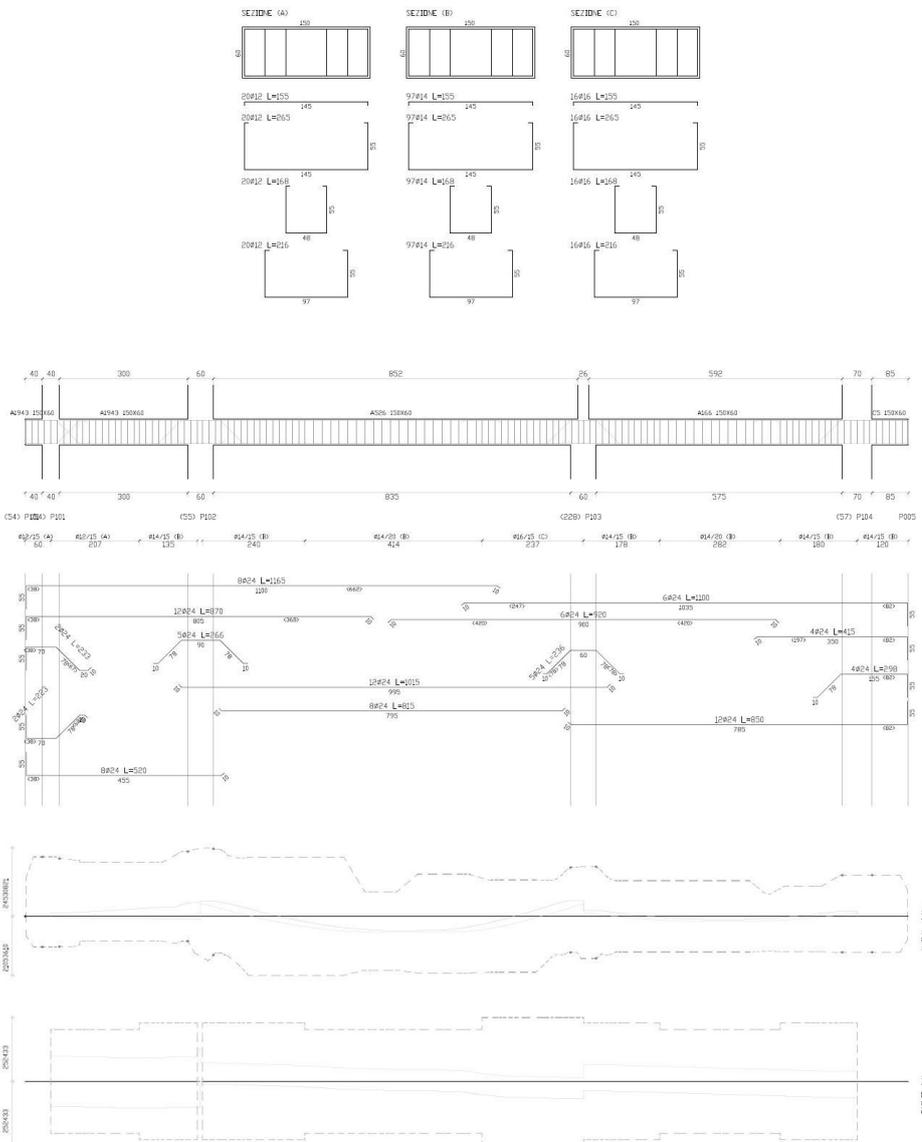


Figura 38 – Carpenteria e diagrammi di momento M_{Ed} e taglio V_{Ed} , travata 3.

³⁸ Capitolo 7, Paragrafo 7.4.6.2.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

TRAVATA 5

La travata 5 ha sezione 120x60 cm.

TRAVATA 5			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-406.41	-704.77	1.73
8.85	-546.61	-1343.12	2.46
17.50	-447.92	-704.77	1.57

Tabella 38 – Verifica a flessione della travata 5.

La verifica a flessione è soddisfatta, ma è segnalato che l'armatura inferiore tesa insufficiente $R_o < 1.4/f_{yk}$ e che l'armatura inferiore compressa è insufficiente.³⁹

TRAVATA 5				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-49.11	764.41	1 510.74	764.41
8.85	-391.96	1 017.88	1 510.74	1 017.88
17.70	47.01	764.41	1 510.74	764.41

Tabella 39 – Verifica a taglio della travata 5.

La verifica di resistenza a taglio è soddisfatta, ma non sono rispettate le seguenti prescrizioni normative:

- Il passo staffe superiore al 25% della altezza utile;
- Il passo staffe superiore a 8 volte il diametro minimo dei ferri longitudinali, per zone sismiche a bassa duttilità;
- Passo staffe superiore a 24 volte il diametro minimo dell'armatura trasversale.⁴⁰

³⁹ Capitolo 7, Paragrafo 7.4.6.2.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

⁴⁰ Capitolo 7, Paragrafo 7.4.6.2.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018

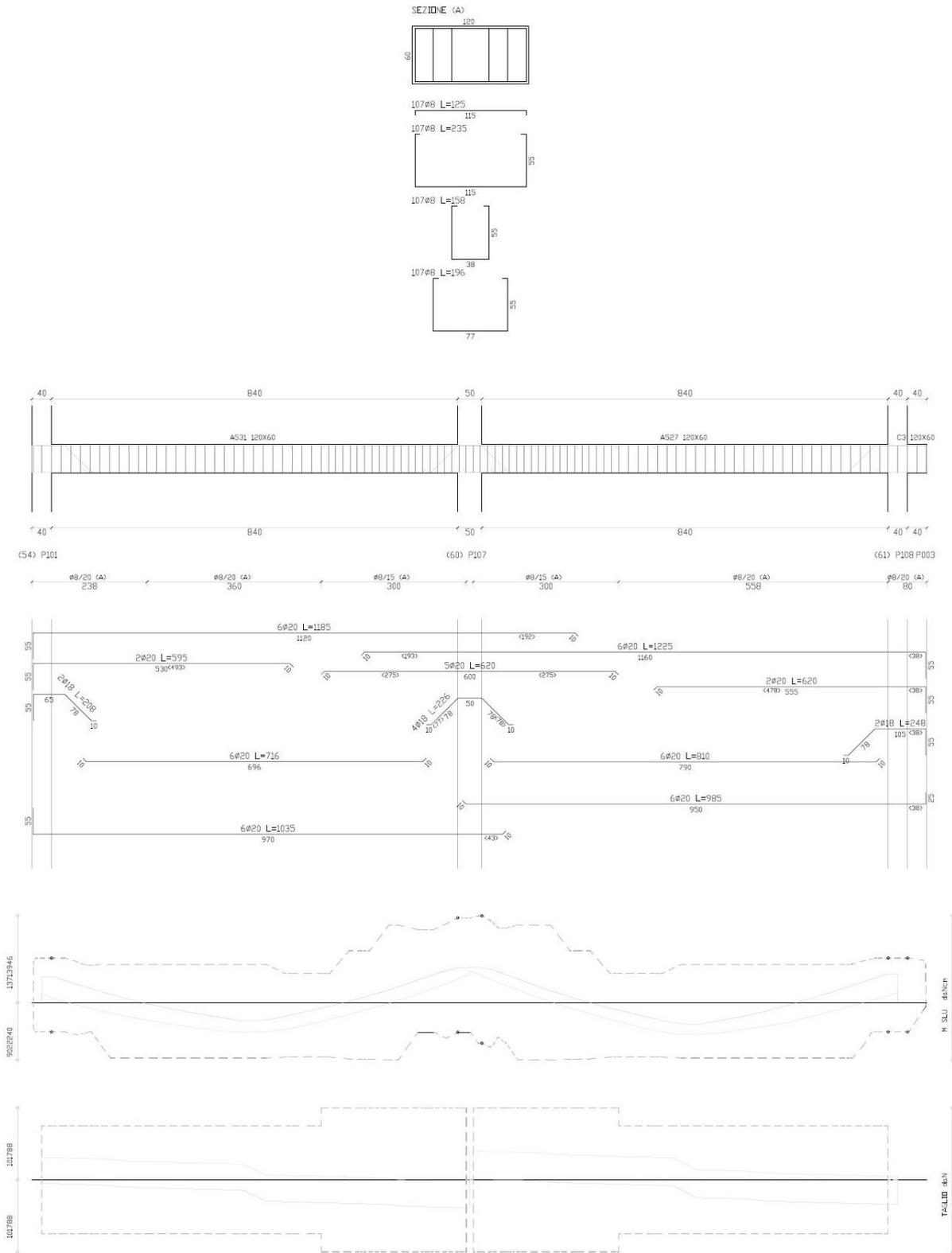


Figura 39– Carpenteria e diagrammi di momento M_{Ed} e taglio V_{Ed} , travata 5.

TRAVE 14

La trave 14 ha sezione 40x60 cm.

Trave 14			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-26.24	-149.08	5.68
1.55	-178.09	-149.08	0.84
2.15	-224.72	-149.08	0.66

Tabella 40 – Verifica a flessione della trave 14.

La verifica a flessione non è soddisfatta.

Trave 14				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-132.51	254.47	503.58	254.47
1.17	139.57	254.47	503.58	254.47
2.35	133.72	254.47	503.58	254.47

Tabella 41 – Verifica a taglio della trave 14.

La verifica di resistenza a taglio è soddisfatta.

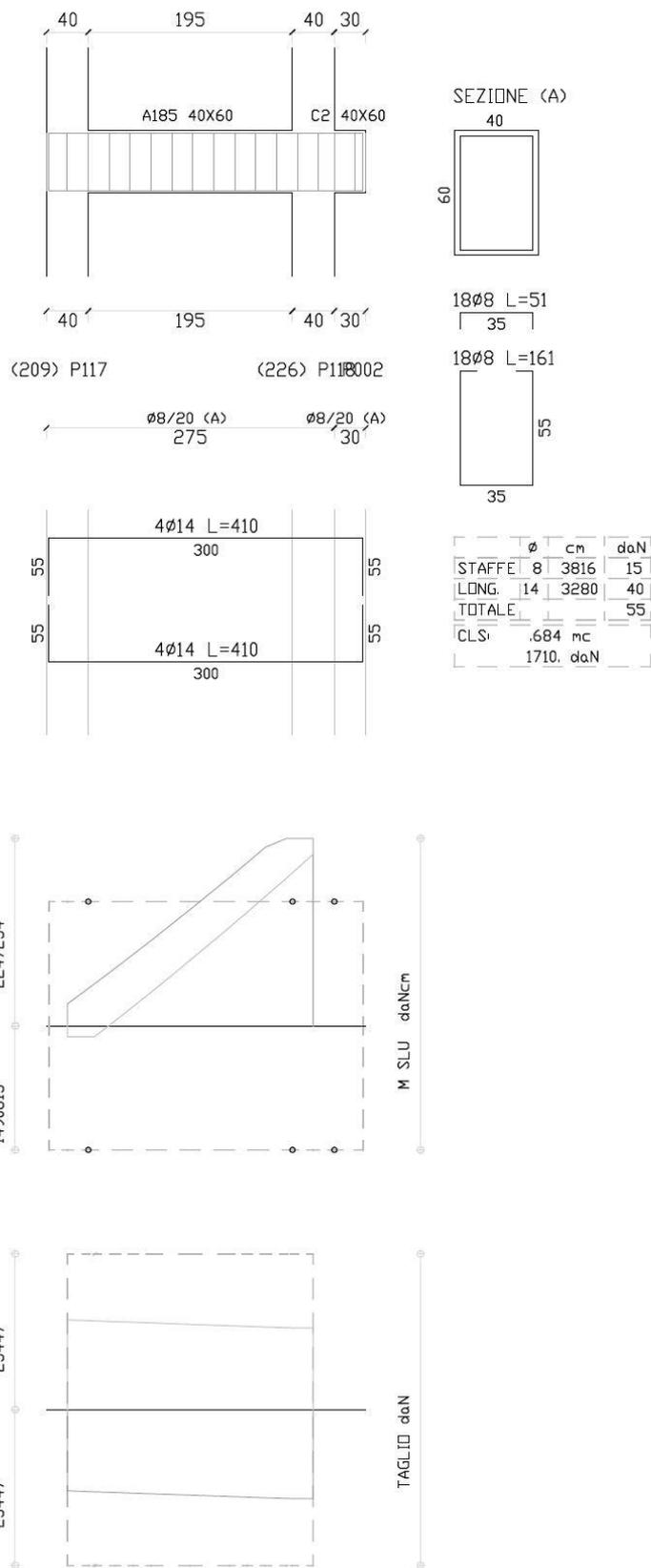


Figura 40– Carpenteria e diagrammi di momento M_{Ed} e taglio V_{Ed} , trave 14.

SOLAIO QUOTA 29,00 m

TRAVATA 1a

La travata 1a ha sezione 120x60 cm.

TRAVATA 1a			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-293.22	-953.02	3.25
15.87	206.04	694.12	3.37
29.45	183.55	743.01	4.05

Tabella 42 – Verifica a flessione della travata 1a.

La verifica a flessione della travata 1a è soddisfatta.

TRAVATA 1a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Red} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-156.81	1 192.82	1 510.74	1 192.82
18.05	-440.99	1 192.82	1 510.74	1 192.82
30.48	199.47	1 192.82	1 510.74	1 192.82

Tabella 43 – Verifica a taglio della travata 1a.

La verifica di resistenza a taglio della travata 1° è soddisfatta.

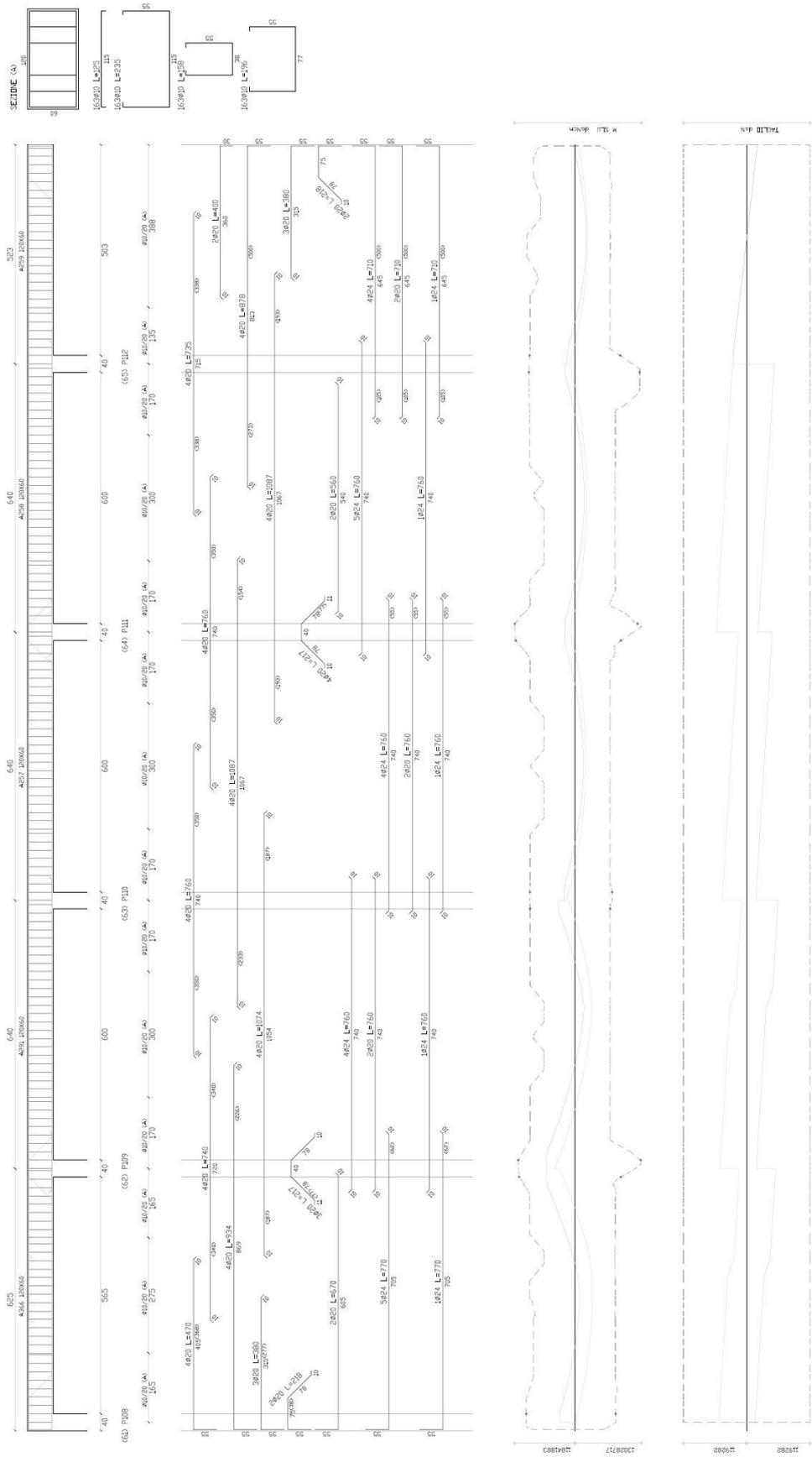


Figura 41 – Carpenteria e diagrammi di M_{Ed} e V_{Ed} della travata 1a.

CASO SISMICO

Per il caso sismico vengono riportate le travi che non soddisfano la verifica di resistenza.

SOLAIO QUOTA 25,10m

TRAVATA 5

La travata 5 ha sezione 120x60cm, ed è armata come nell'immagine che segue.

TRAVATA 5			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	555.24	461.00	0.83
8.85	143.26	465.39	3.25
17.50	-881.12	461.00	-0.52

La verifica a flessione per la travata 5 nel caso sismico non è soddisfatta.

TRAVATA 5				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	348.52	763.41	1 510.74	763.41
8.85	453.09	1 017.88	1 510.74	1 017.88
17.70	-384.64	763.41	1 510.74	763.41

La verifica a taglio è soddisfatta.

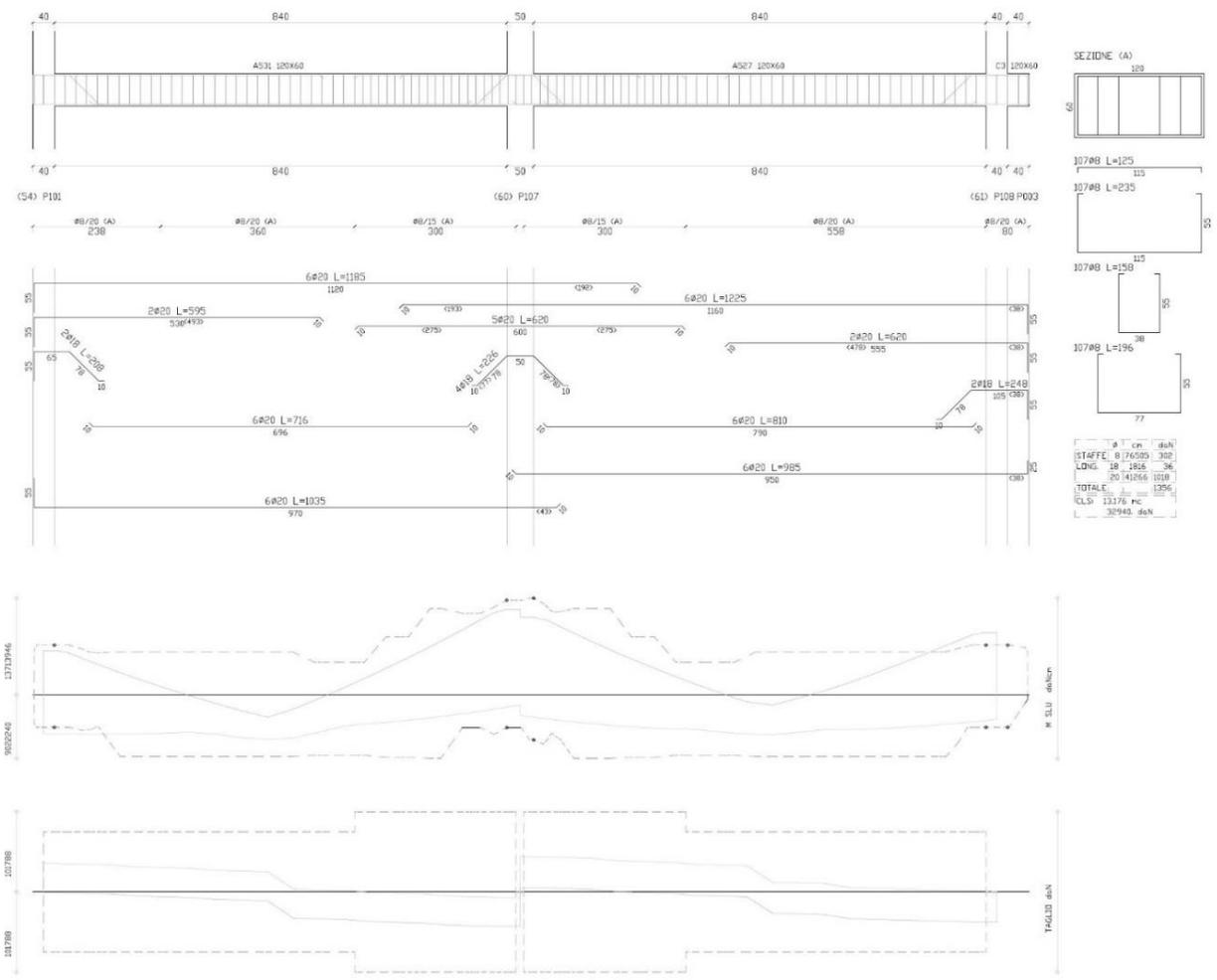


Figura 42 – Carpentaria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , travata 5a.

TRAVE 12

La trave 12 ha sezione 60x80cm, ed è armata come nell'immagine riportata di seguito.

TRAVE 12			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.20	-328.38	-262.29	0.80
1.18	-142.22	-262.29	1.84
2.15	319.54	15.21	0.05

La verifica a flessione non è soddisfatta.

TRAVE 12				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-133.71	254.47	503.58	254.47
1.18	-139.56	254.47	503.58	254.47
2.35	146.61	254.47	503.58	254.47

La verifica a taglio è soddisfatta.

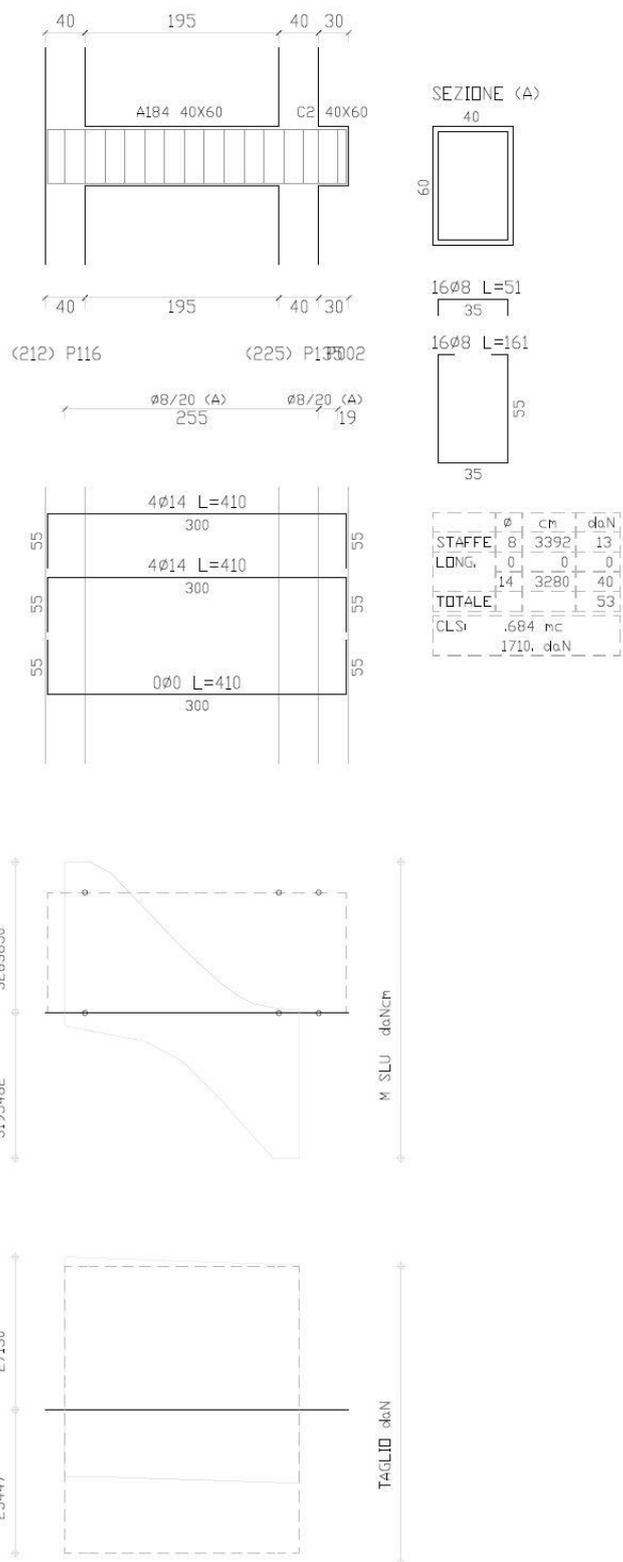


Figura 43 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , trave 12.

TRAVE 14

La trave 14 ha sezione 40x60cm, ed ha armature longitudinali e armature trasversali come nella immagine che segue.

TRAVE 14			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-302.75	-149.08	0.49
1.55	-185.94	-149.08	0.80
2.15	-211.81	-149.08	0.70

La verifica a flessione non è soddisfatta.

TRAVE 14				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-152.46	254.47	503.58	254.47
1.55	137.32	254.47	503.58	254.47
2.35	132.52	254.47	503.58	254.47

La verifica a taglio è soddisfatta.

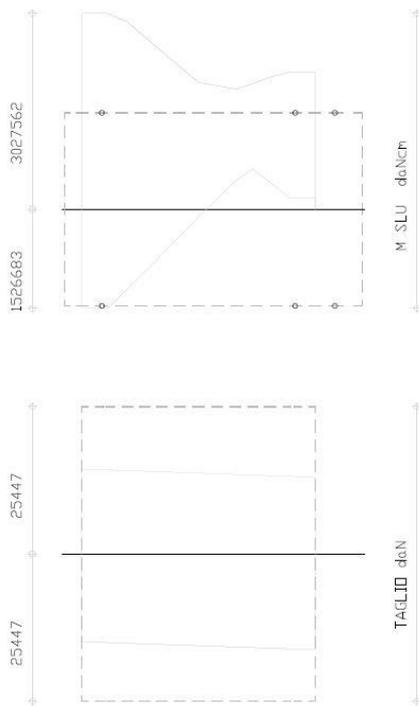
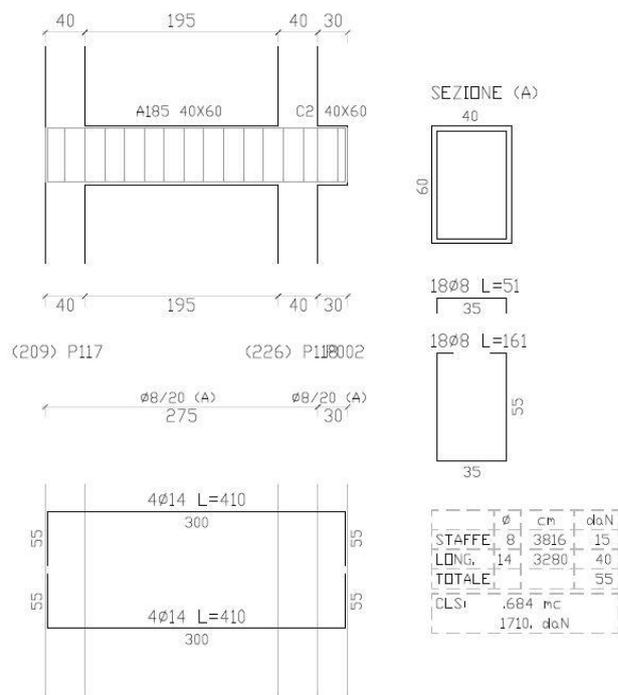


Figura 44 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , trave 14.

TRAVE 8

La trave 8 ha sezione 40x60cm; le armature longitudinali e trasversali sono riportate nell'immagine che segue.

TRAVE 8			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-95.09	-334.90	3.52
3.35	-142.08	-99.87	0.70
5.00	-196.52	298.25	-1.52

La verifica a flessione non è soddisfatta.

TRAVE 8				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-106.64	510.95	510.95	519.94
1.65	-115.35	510.95	510.95	519.94
5.00	143.81	510.95	510.95	519.94

La verifica a taglio è soddisfatta.

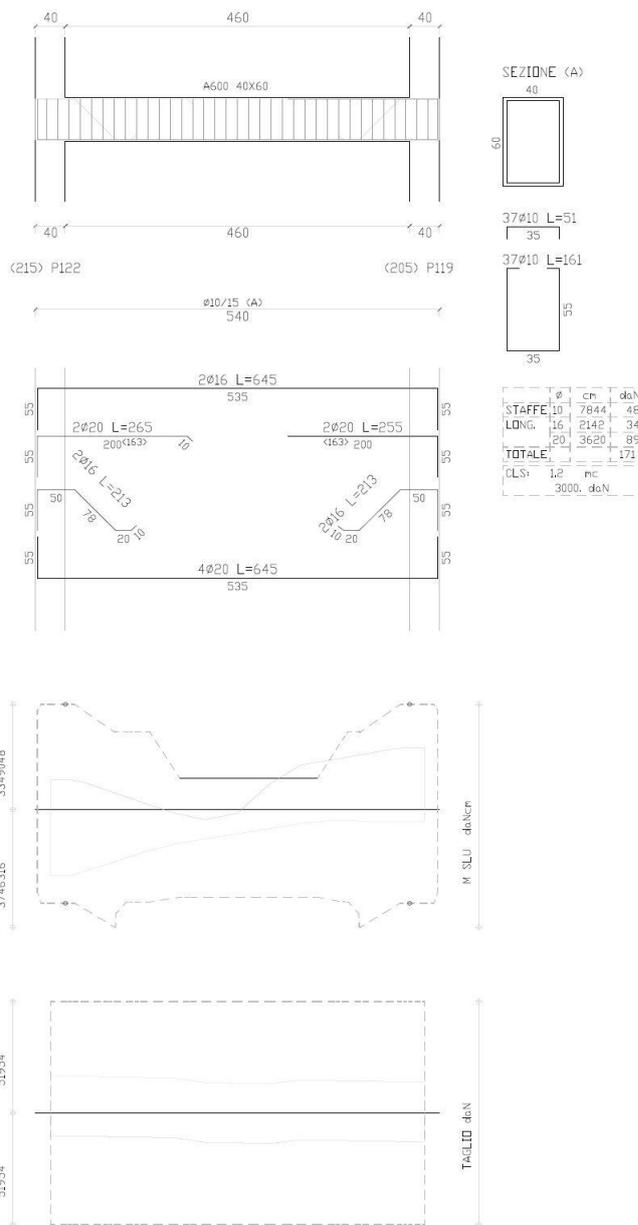


Figura 45 – Carpenteria e diagrammi M_{Ed} e V_{Ed} , trave 8.

Da quanto riportato si evince che le sollecitazioni di flessione nelle travi aumentano a seguito delle azioni sismiche. In queste sezioni verranno pensati gli opportuni interventi.

4.6.4. VERIFICA DEI PLINTI DI FONDAZIONE

Per valutare come varierà il comportamento delle fondazioni a seguito degli interventi che verranno progettati, riportiamo nel seguito una tabella indicativa al fine di svolgere una valutazione qualitativa delle verifiche fondamentali per i plinti di fondazione allo stato di fatto; la tabella viene estrapolata dal Programma IS Plinti.

c.port [fs]	scorr. [fs]	cedim. [cm]	S.mgr. [daN/cm ²]	S.ter. [daN/cm ²]	R.pli. [fs]	R.mgr. [fs]	Fles. [fs]	Tagl. [fs]	Punz. [fs]	Bicc. [fs]
20 (1.13)	11 (2.00)	1 (---)	20 (-7.15)	20 (-5.76)	21 (53.06)	21 (53.85)	15 (1.04)	12 (1.84)	12 (4.86)	1 (---)
11 (1.66)	15 (2.13)	2 (---)	10 (-6.04)	11 (-4.72)	4 (53.95)	4 (54.62)	11 (1.30)	13 (2.00)	13 (5.30)	2 (---)
10 (1.73)	20 (2.76)	3 (---)	11 (-5.47)	10 (-4.72)	18 (54.39)	18 (54.83)	9 (1.41)	14 (2.23)	14 (5.95)	3 (---)
21 (1.80)	4 (2.94)	4 (---)	9 (-5.41)	9 (-4.52)	9 (54.93)	9 (55.06)	17 (1.51)	15 (3.17)	11 (76.90)	4 (---)
9 (1.80)	21 (3.03)	5 (---)	17 (-5.11)	12 (-4.22)	5 (64.04)	5 (64.02)	1 (1.60)	9 (3.38)	1 (> 100)	5 (---)
17 (2.01)	12 (3.06)	6 (---)	2 (-5.07)	2 (-4.22)	17 (64.87)	17 (65.16)	2 (1.60)	17 (3.58)	2 (> 100)	6 (---)
2 (2.02)	9 (3.20)	7 (---)	1 (-4.96)	17 (-4.21)	10 (64.94)	10 (65.59)	3 (1.69)	1 (3.75)	3 (> 100)	7 (---)
1 (2.05)	13 (3.36)	8 (---)	3 (-4.92)	1 (-4.13)	2 (67.38)	2 (67.28)	21 (1.82)	2 (3.77)	4 (> 100)	8 (---)
3 (2.09)	3 (3.37)	9 (---)	4 (-4.80)	3 (-4.10)	1 (68.85)	1 (68.74)	5 (1.91)	3 (3.98)	5 (> 100)	9 (---)
15 (2.17)	14 (3.52)	10 (---)	12 (-4.74)	15 (-3.96)	8 (74.17)	8 (75.07)	12 (1.92)	5 (4.54)	6 (> 100)	10 (---)
12 (2.21)	10 (3.54)	11 (---)	15 (-4.56)	13 (-3.83)	12 (78.53)	12 (77.11)	10 (1.93)	11 (5.60)	7 (> 100)	11 (---)
4 (2.22)	2 (3.77)	12 (---)	21 (-4.39)	4 (-3.75)	3 (95.15)	3 (95.05)	20 (1.93)	18 (6.66)	8 (> 100)	12 (---)
5 (2.45)	1 (4.00)	13 (---)	13 (-4.31)	21 (-3.73)	6 (> 100)	6 (> 100)	13 (2.09)	6 (6.77)	9 (> 100)	13 (---)
13 (2.46)	18 (4.19)	14 (---)	5 (-4.13)	14 (-3.43)	20 (> 100)	16 (> 100)	14 (2.33)	8 (9.00)	10 (> 100)	14 (---)
19 (2.62)	6 (4.20)	15 (---)	19 (-4.05)	5 (-3.39)	16 (> 100)	20 (> 100)	18 (2.39)	21 (17.68)	15 (> 100)	15 (---)
16 (2.71)	7 (4.31)	16 (---)	16 (-4.03)	19 (-3.18)	13 (> 100)	13 (> 100)	6 (2.43)	4 (> 100)	16 (> 100)	16 (---)
14 (2.75)	5 (4.47)	17 (---)	14 (-3.85)	16 (-3.16)	7 (> 100)	7 (> 100)	4 (2.55)	7 (> 100)	17 (> 100)	17 (---)
7 (3.06)	16 (4.70)	18 (---)	7 (-3.41)	18 (-2.74)	19 (> 100)	19 (> 100)	16 (2.88)	10 (> 100)	18 (> 100)	18 (---)
18 (3.23)	19 (4.75)	19 (---)	18 (-3.23)	7 (-2.68)	14 (> 100)	14 (> 100)	19 (3.02)	16 (> 100)	19 (> 100)	19 (---)
6 (3.49)	17 (4.75)	20 (---)	6 (-3.08)	6 (-2.62)	15 (> 100)	15 (> 100)	8 (3.05)	19 (> 100)	20 (> 100)	20 (---)
8 (4.16)	8 (7.17)	21 (---)	8 (-2.64)	8 (-2.24)	11 (> 100)	11 (> 100)	7 (3.74)	20 (> 100)	21 (> 100)	21 (---)

Tabella 44 – Verifiche dei plinti di fondazione.

Nella Tabella precedente sono riportate tutte le verifiche fondamentali per i plinti, tra cui la verifica di capacità portante, la verifica a scorrimento e la verifica dei cedimenti., secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni.

Nella colonna relativa a ciascuna verifica, i plinti sono ordinati dal più sollecitato al meno sollecitato, dall'alto verso il basso.

In ogni cella vengono riportati il numero del plinto, e tra parentesi i relativi valori per la verifica in questione; il colore verde indica che le verifiche sono soddisfatte.

Si può constatare che le fondazioni nella struttura esistente soddisfano tutte le verifiche prescritte dalle Normative.

4.7. INTERVENTI SULLA STRUTTURA

Le analisi svolte hanno permesso di valutare il comportamento degli elementi strutturali della struttura, e quindi pensare alle tipologie di interventi più adatti al caso di studio.

Da quanto è emerso, gli elementi che a fronte delle azioni sismiche comportano maggiori problematiche sono i pilastri. Per quanto riguarda le travi, la presenza delle azioni sismiche comporta la mancata verifica di resistenza di sole poche travi, in particolare nelle sezioni in prossimità del nodo con i pilastri.

Al fine di modificare il comportamento globale della struttura, gli interventi a cui faremo riferimento sono gli interventi sui pilastri, poiché quasi tutti gli elementi necessitano di essere consolidati.

Per le travi invece verranno pensati interventi localizzati, pur appartenendo al procedimento di intervento globale per la struttura; dalla configurazione pre-intervento verranno prese le travi che non soddisfano le verifiche di resistenza, e adeguate singolarmente.

Gli interventi di consolidamento che verranno progettati terranno conto non solo della condizione in presenza di azioni sismiche, ma anche nella conformazione della struttura con i soli carichi gravitazionali agenti, poiché come visto questi sono di notevole entità e stando alle Norme Tecniche vigenti, ad oggi risultano non idonei alla configurazione di equilibrio statico della costruzione.

Nei prossimi paragrafi verrà valutata la progettazione sia di interventi di miglioramento sismico che di adeguamento sismico, realizzati mediante la solita modalità di riparazione degli elementi, che si differenziano sostanzialmente nei livelli di sicurezza raggiunti per la costruzione.

Con gli interventi di adeguamento sismico viene conseguito un livello di sicurezza per il fabbricato che è esattamente quello previsto dalle Norme Tecniche attuali; gli interventi sulla struttura vengono progettati al fine di rispettare pienamente le prescrizioni normative.

Gli interventi di miglioramento sismico permettono invece di aumentare il livello di sicurezza della costruzione esistente, senza necessariamente raggiungere i livelli prescritti dalle Norme Tecniche.

Gli interventi sulle travi sono localizzati sulle sezioni di alcuni elementi; con questi interventi non viene modificato il comportamento globale della struttura, infatti viene aumentata la sicurezza di parti di elementi strutturali, ma possiamo considerare che rientrino nella pratica di intervento globale per l'edificio studiato.

Dalle verifiche svolte è emerso che al fine di salire di livello di Classe di Rischio Sismico è necessario intervenire su quasi tutte le pilastrate del fabbricato,

modificando il comportamento globale della struttura; di conseguenza i pilastri nel caso studiato governano questa classificazione.

Per la combinazione sismica delle azioni, il parametro atto a valutare le differenze tra questi tipi di intervento è ζ_E , “rapporto tra l’azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l’azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche”.⁴¹ Per le azioni non sismiche, come i carichi permanenti, vi è il parametro $\zeta_{v,i}$, “rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla parte *i*-esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.”⁴²

Nel caso oggetto di studio il parametro di riferimento per la classificazione degli interventi è ζ_E , poiché come valutato, le azioni sismiche comportano sollecitazioni maggiori nella struttura, perciò gli interventi di tipo sismico saranno validi anche per il caso statico.

Per la definizione di ζ_E viene utilizzato come parametro l’accelerazione al suolo a_g S. Con gli interventi di miglioramento possono essere portate modifiche anche globali nella struttura, con modifica della rigidezza della struttura e della sua resistenza.

Per questi interventi, relativamente alla combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_e può essere minore dell’unità; per edifici di classe II, come nel caso presente, deve essere incrementato di almeno il 10%.

Gli interventi di adeguamento hanno la finalità di raggiungere livelli di sicurezza prescritti per gli edifici di nuova costruzione, di conseguenza, rispetto alle azioni sismiche è richiesto il raggiungimento del valore unitario del parametro ζ_e .

Per la struttura in esame verranno studiate entrambe le tipologie di adeguamento, ricorrendo però alle stesse modalità di intervento, in base alle necessità della struttura.

Il parametro ζ_e verrà cambiato nei vari modelli di calcolo in cui verranno svolti gli interventi, essendo il rapporto tra la Peak Ground Acceleration di capacità della struttura e la Peak Ground Acceleration di domanda del sito in cui è ubicata la costruzione, vale a dire la vulnerabilità sismica della struttura.

Stando ai risultati delle analisi svolte, sono state studiate diverse possibilità di intervento al fine di consolidare l’edificio per le azioni sismiche e non.

Data l’assenza di tamponamenti nel fabbricato, inizialmente è stata valutato l’inserimento di muri di taglio sui lati esterni della struttura, nelle due direzioni ortogonali, al fine di aumentare la rigidezza strutturale dell’organismo, e contenere i carichi verticali.

⁴¹ Capitolo 8, Paragrafo C8.3, Circolare Ministeriale n.7 C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019

⁴² Capitolo 8, Paragrafo C8.3, Circolare Ministeriale n.7 C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019

Questo intervento però avrebbe comportato la necessità di riassetto completamente le fondazioni, implicando lo stravolgimento dell'assetto della struttura, nonché costi elevati per la realizzazione.

Le fondazioni presenti infatti sono realizzate con plinti isolati per i pilastri interni alla struttura, mentre per i pilastri esterni sono fondazioni nastriformi in comune con i muri di sostegno. La progettazione di muri di taglio avrebbe richiesto di implementare le fondazioni già presenti, e una stima del rapporto benefici–costi ha portato a escludere questa opzione.

Sono stati quindi valutati interventi che interessassero direttamente i pilastri, stando anche alla tipologia di fondazioni a plinti isolati, in modo da ridefinire il comportamento globale resistente della struttura, ma valutando che non fosse alterato il baricentro delle masse e il centro di rigidità dell'organismo.

A tal proposito sono stati pensati interventi di incamiciatura in calcestruzzo armato per i pilastri, i cui criteri generali sono riportati al C8.7.4.2.1 della Circolare Ministeriale del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. [7]

Il tipo di intervento scelto è preferibile rispetto alle incamiciature in acciaio, poiché quest'ultime sono particolarmente indicate al fine di aumentare la capacità in termini di resistenza a taglio.

Con le incamiciature in calcestruzzo armato è possibile aumentare la rigidità, la duttilità del pilastro, attraverso un incremento della sezione resistente dell'elemento stesso.

Gli obiettivi di tali interventi per il caso di studio coincidono con quelli indicati nella Circolare Ministeriale, quali l'aumento della capacità portante verticale, nonché della resistenza a flessione e taglio ed infine l'incremento delle caratteristiche elastiche dell'elemento, in termini di capacità di deformazione.

La sezione originaria viene avvolta con una nuova sezione in calcestruzzo armato che collabora con quella originale, andando a migliorare il comportamento complessivo dell'elemento strutturale agli Stati Limite.

Nel caso di studio è stata progettata una incamiciatura totale degli elementi, realizzando la camicia su tutti i lati dei pilastri. [7]

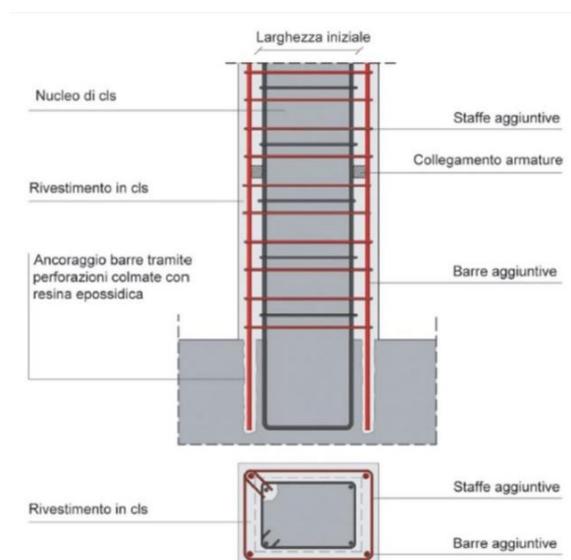


Figura 46 – Schematizzazione dell'incamiciatura in c.a. di un pilastro.⁴³ [13]

Lo spessore delle camicie deve essere scelto in modo da consentire il posizionamento di armature longitudinali e trasversali, opportunamente riprogettate, e la realizzazione di un copriferro con spessore adeguato; in questo caso di studio sono state realizzate camicie dello spessore di 10 cm su ogni lato.

Una volta riprogettati tutti i pilastri oggetto di intervento, è stata svolta l'Analisi Dinamica Lineare e quindi sono state ripetute le Verifiche di Resistenza, variando il valore del parametro ζ_e per valutare sia l'adeguamento che il miglioramento sismico. Questo intervento comporta l'aumento della sezione resistente degli elementi, di conseguenza viene modificato il baricentro delle masse e il centro di rigidità dell'intera struttura, quindi deve essere analizzato il comportamento dell'intera struttura post-intervento.

Ai fini della valutazione della resistenza dei pilastri incamiciati, sono state seguite le indicazioni fornite nella Circola Ministeriale 21 gennaio 2019 secondo cui possono essere fatte le seguenti ipotesi:

- *“l'elemento incamiciato si comporta monoliticamente, con piena aderenza tra il calcestruzzo vecchio e il nuovo;*
- *il carico assiale si considera applicato alla sola porzione preesistente dell'elemento per i soli carichi permanenti, all'intera sezione incamiciata per i carichi variabili e per le azioni sismiche;*
- *le proprietà meccaniche del calcestruzzo della camicia si considerano estese all'intera sezione se le differenze fra i due materiali non sono eccessive.* “⁴⁴

⁴³ Ingegneri_{cc}, <https://www.ingegneri.cc/incamiciatura-in-c-a.html>

⁴⁴ Capitolo 8, Paragrafo C. 8.7.4.2.1., Circolare Ministeriale n.7 C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019

Sulla base delle ipotesi precedenti, i valori della capacità da adottare nelle verifiche sono quelli calcolati con riferimento alla intera sezione incamiciata, ridotte come segue:

- $V_R=0,9V_R$ capacità in termini di resistenza a taglio;
- $M_y=0,9M_y$ capacità in termini di resistenza a flessione;
- $\theta_y=0,9\theta_y$ capacità in termini di deformabilità allo snervamento;
- $\theta_u=0,9\theta_u$ capacità in termini di deformabilità ultima. [7]

Queste prescrizioni sono state considerate preventivamente nella progettazione facendo considerazioni sul coefficiente di sicurezza γ_S dell'acciaio, cosicché i risultati del modello di calcolo in cui sono stati effettuati gli interventi tenessero conto già di una resistenza effettiva abbassata al 90%.

Con l'intervento di incamiciatura viene modificato il comportamento fragile del pilastro, a rispetto della Gerarchia delle Resistenze "Capacity Design".

Nel caso oggetto di studio l'incamiciatura viene effettuata per le intere pilastrate, quindi deve essere garantita la continuità dell'intervento anche nei nodi in corrispondenza tra trave e pilastri.

Con la tecnica scelta i pilastri vengono allargati in sezione di circa 10 cm per lato, e le armature vengono riprogettate ex novo, senza considerare la resistenza delle armature già presenti dallo stato di fatto.

I pilastri su cui è stato effettuato il criterio di consolidamento sismico scelto sono riportati nella tabella che segue.

PILASTRO	DIMENSIONI STATO DI FATTO [cm]	DIMENSIONI POST INTERVENTO [cm]
P1	40x40	60x60
P2	50x40	70x60
P3	50x40	70x60
P4	50x40	70x60
P5	50x40	70x60
P6	40x40	60x60
P7	40x40	60x60
P8	40x50	60x70
P9	40x50	60x70
P11	Ø 70	Ø 90
P12	Ø 70	Ø 90
P13	Ø 70	Ø 90
P15	40x40	60x60
P16	40x40	60x60
P17	60x40	80x60
P18	60x40	80x60
P19	70x40	90x60
P21	50x40	70x60
P22	50x40	70x60
P24	40x40	60x60
P27	40x40	60x60
P28	40x40	60x60
P31	40x40	60x60
P32	40x40	60x60
P33	40x40	60x60
P34	40x40	60x60
P35	40x40	60x60

Tabella 45 – Elenco pilastri oggetto di incamiciatura in c.a.

La tecnica dell'incamiciatura permette di progettare i pilastri a favore del criterio progettuale di "Capacity Design", secondo cui il comportamento della struttura è caratterizzato da "trave debole e pilastro forte".

Per incamiciare il singolo pilastro, i ferri e le staffe progettati con l'intervento vengono ancorati alla testa e al piede dell'elemento; per assicurare l'ancoraggio vengono fatte delle forature negli elementi strutturali adiacenti, con l'accorgimento di non intaccare l'armatura preesistente, e le forature vengono riempite con resina epossidica. [13]

Il comportamento monolitico dell'elemento viene garantito ferri di collegamento tra le barre longitudinali esistenti con le nuove barre; per questo sarà stato preventivamente tolto il copriferro originario.

Le nuove barre longitudinali saranno confinate dalle relative staffe, opportunamente chiuse.

Una volta predisposta la cassaforma per ciascun elemento viene fatto il getto della camicia con un calcestruzzo con proprietà meccaniche simili a quello esistente, preoccupandosi di garantire una perfetta aderenza tra calcestruzzo esistente e nuovo. Per l'adeguamento delle travi è stata esclusa subito la possibilità di effettuare incamiciature in calcestruzzo armato, poiché è una tecnica di difficile realizzazione per questi elementi. Mentre i pilastri, nella struttura in esame, sono allo stato grezzo e quindi l'incamiciatura è facilitata, le travi sono in spessore con il solaio e questo tipo di intervento risulterebbe troppo invasivo.

Nel caso delle travi è stato scelto di intervenire con fasciature realizzate con materiali compositi, adoperando questo intervento sia nel modello in cui è stato realizzato l'adeguamento che in quello in cui è stato fatto il miglioramento sismico.

Le fasciature si sono rivelate la tecnica migliore per le travi, poiché sono state progettate per le sezioni che non hanno soddisfatto le verifiche di resistenza, e sono state applicate in modo tale da ridurre l'impatto dell'intervento sugli elementi intorno. Per mettere in sicurezza gli elementi trave non verificati sono stati scelti come interventi di consolidamento dei sistemi di rinforzo in compositi FRP fibrorinforzati, realizzati con tessuti unidirezionali in carbonio ad alta resistenza, finalizzati ad incrementare la capacità resistente a taglio e flessione delle travi.[14]

Il sistema scelto è *CARBOSTRU® T-System*, fornito da "Interbau S.r.l."⁴⁵, impresa specializzata nei lavori di consolidamento strutturale, miglioramento e adeguamento sismico mediante materiali compositi FRP.

⁴⁵ Interbau S.r.l., <https://www.interbau-srl.it/it>

Carico di rottura a trazione delle fibre	4.600 MPa
Modulo elastico	395 GPa
Allungamento a rottura delle fibre	1,17 %
Densità fibra	1,80 g/cm ³
Massa del tessuto per unità di area	400 g/m ²
Spessore equivalente tessuto unidirezionale	0,22 mm
Larghezza dei tessuti unidirezionale	10 - 15 cm
Sezione equivalente tessuti unidirezionale 10 cm – 15cm	22 - 33 mm ²

Figura 47 – Caratteristiche tecniche di CARBOSTRU® UD HM_HR 400/10-15⁴⁶

Interbau S.r.l. ha fornito il Software che ha permesso di applicare i materiali alla singola trave esaminata, e di effettuare le verifiche.

La tecnologia delle fasce in fibra di carbonio è stata applicata ad alcune delle travate principali, caratterizzate da dimensioni notevoli, e alle travi che non hanno soddisfatto le verifiche di resistenza.

Le travi oggetto di intervento sono relative al piano a quota 25,10m: travata 5, trave 14, trave 12 e trave 8.

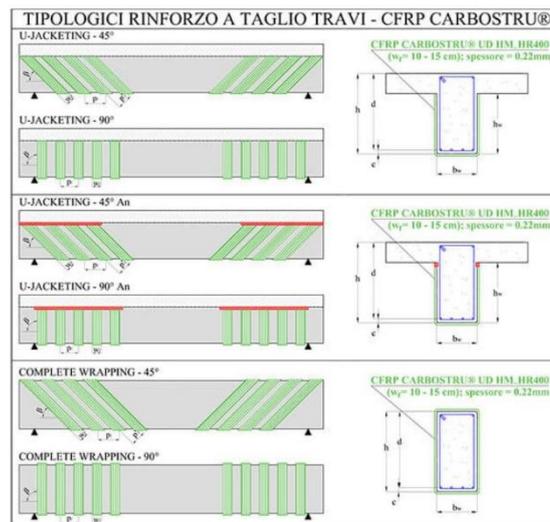


Figura 48 – Esempi di fasce rinforzanti a taglio applicate a travi.⁴⁷

⁴⁶ Interbau S.r.l., <https://www.interbau-srl.it/it/systems/carbostru>

⁴⁷ Interbau S.r.l., <https://www.interbau-srl.it/it/systems/carbostru-t-system>

4.8. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento sismico è stato svolto su un nuovo modello di calcolo, in cui ai pilastri sono state assegnate le sezioni definite per le incamiciature, e le armature delle incamiciature sono state progettate, imponendo il parametro $\zeta_E=1$.

Sono state quindi svolte le Analisi Dinamica e Statica Lineari per determinare la conformazione della struttura post-intervento, in particolare la posizione del centro di massa e del baricentro delle rigidezze, e i modi di vibrare della struttura a seguito dell'irrigidimento dovuto agli interventi.

Le travi invece, a seguito delle analisi prima dell'intervento, sono state studiate singolarmente con l'apposito Programma fornito da *Interbau S.r.l* come vedremo in seguito.

A seguito degli interventi, è stato subito controllato che il centro delle masse e il baricentro delle rigidezze non fossero modificati eccessivamente.

Nella tabella che segue, estrapolata da Dolmen, i piani sono espressi in cm, i pesi e le forze di piano in daN, i momenti torcenti in daNcm, ed i baricentri in cm; i valori sono all'incirca uguali a quelli pre-intevento.

Piani	Pesi	C. distr.	Forze piano	Torc. piano X	Torc. piano Y	Bar. X	Bar. Y
27.5	15810	0.0043	69	1944	683	4050.3	-1232.5
88.1	7268	0.0139	101	2863	1007	4050.5	-1231.9
139.6	93446	0.0221	2061	359321	427481	2193.4	344.8
193.0	9038	0.0305	276	7798	2741	4048.5	-1237.9
245.0	69867	0.0387	2704	513777	568838	1813.9	1717.1
300.0	54792	0.0474	2596	110640	81191	4096.9	-1496.4
553.8	1550508	0.0875	135626	24359689	27659109	1803.8	768.2
631.9	39786	0.0998	3971	72842	25615	1859.1	-223.7
733.9	42695	0.1159	4950	98267	45193	2520.0	-467.0
827.1	16718	0.1306	2184	30453	10800	2939.0	-649.5
881.9	218470	0.1393	30432	2710191	2376136	3715.6	-949.0
945.0	1288447	0.1493	192324	20517966	37567832	1713.6	836.8

Tabella 46 – Forze e momenti torcenti di piano

Nella tabella che segue, estrapolata da Dolmen, i piani sono espressi in cm, i pesi e le forze di piano in daN, i momenti torcenti in daNcm, ed i baricentri in cm.

Quota [cm]	400	790	
Rigidezza k_x /1000 [daN/cm]	1038.1	696.38	
Rigidezza k_y /1000 [daN/cm]	859.51	410.16	
Rigidezza k_{tors} (1/6) [daNcm]	1989976	1717789	
X_k (centro rigidezze) [cm]	2535.6	2774.5	
Y_k (centro rigidezze) [cm]	529.4	564.6	
X_g (baricentro) [cm]	1823.9	2014.1	
Y_g (baricentro) [cm]	711.7	564.7	
dimensione X [cm]	3875	3907	
dimensione Y [cm]	3425	2134	
raggio rigidezza r_x [cm]	1522	2046	
raggio rigidezza r_y [cm]	1384	1571	
raggio giratorio I_s [cm]	1495	1285	
MIN (r_x , r_x)	0.925	1.222	<1
($X_g - X_k$)/r_x	0.348	0.371	>0.3
($Y_g - Y_k$)/r_y	0.1317	0.0141	>0.3
2° ordine (θ_x)	1.1	0.71	<10%
2° ordine (θ_y)	1.33	1.2	<10%
percentuale dinamica X	37.63	62.37	
percentuale dinamica Y	33.89	66.11	

Tabella 47 – Tabella delle rigidezze strutturali post–intervento.

Il centro delle masse risulta pressoché invariato, mentre il centro delle rigidezze subisce un piccolo spostamento nel caso per il solaio posto a quota 29,00 m.

Ad ogni modo, da quanto emerge nella Tabella sopra riportata, la configurazione non è molto alterata rispetto al caso pre–intervento, difatti si è provveduto ad operare in modo omogeneo su quasi tutti i pilastri.

Di seguito vengono riportate le immagini dei centri di massa e dei centri delle rigidezze per i due solai.



Figura 49 – Centro delle masse e delle rigidezze post-intervento, solaio 25,10 m.

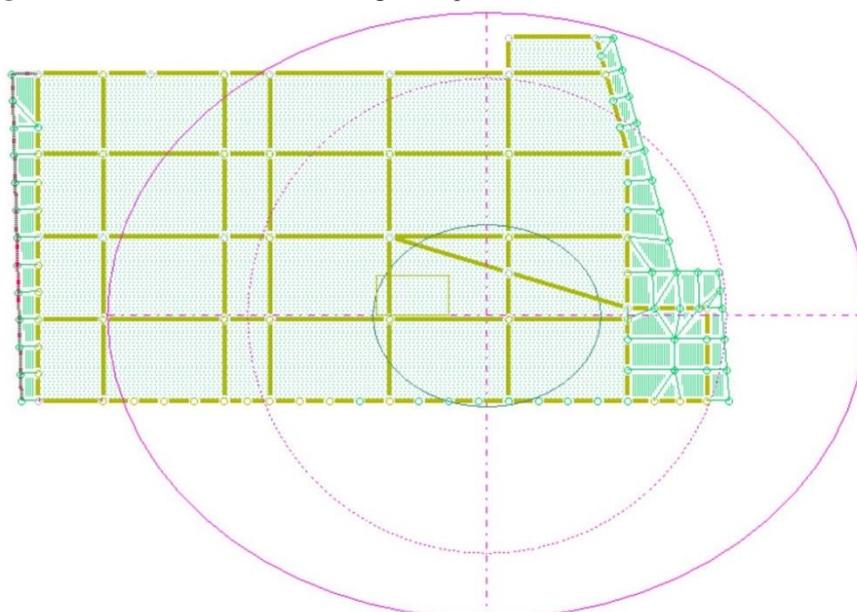


Figura 50 – Centro delle masse e delle rigidezze post-intervento, solaio 29,00 m.

Dall'Analisi Dinamica si sono ottenuti i principali modi di vibrare della struttura, riportati nella tabella che segue.

MODI DI VIBRARE	PERIODO [s]	MASSA ATTIVATA [%]		
		x	y	z
1	0.565	5.601	62.572	0
2	0.457	25.791	22.247	0
3	0.445	54.739	0.721	0
MASSA TOTALE		86.130	85.540	0

Tabella 48 – Modi di vibrare della struttura post-intervento.

4.8.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE E A TAGLIO

Con gli interventi di adeguamento si interviene sia sulle vulnerabilità sismiche che sulle condizioni di normale utilizzo.

Di seguito vengono riportati in modo completo le verifiche dei pilastri visti prima dell'adeguamento a titolo esemplificativo, mentre le verifiche per tutti i pilastri sono riportate in **Allegato A**.

PILASTRO P1

Il pilastro P1 a seguito dell'incamiciatura in c.a. ha sezione 60x60cm.

Di questo sono state riprogettate le armature ed effettuate le verifiche a pressoflessione e a taglio con l'utilizzo di Dolmen.

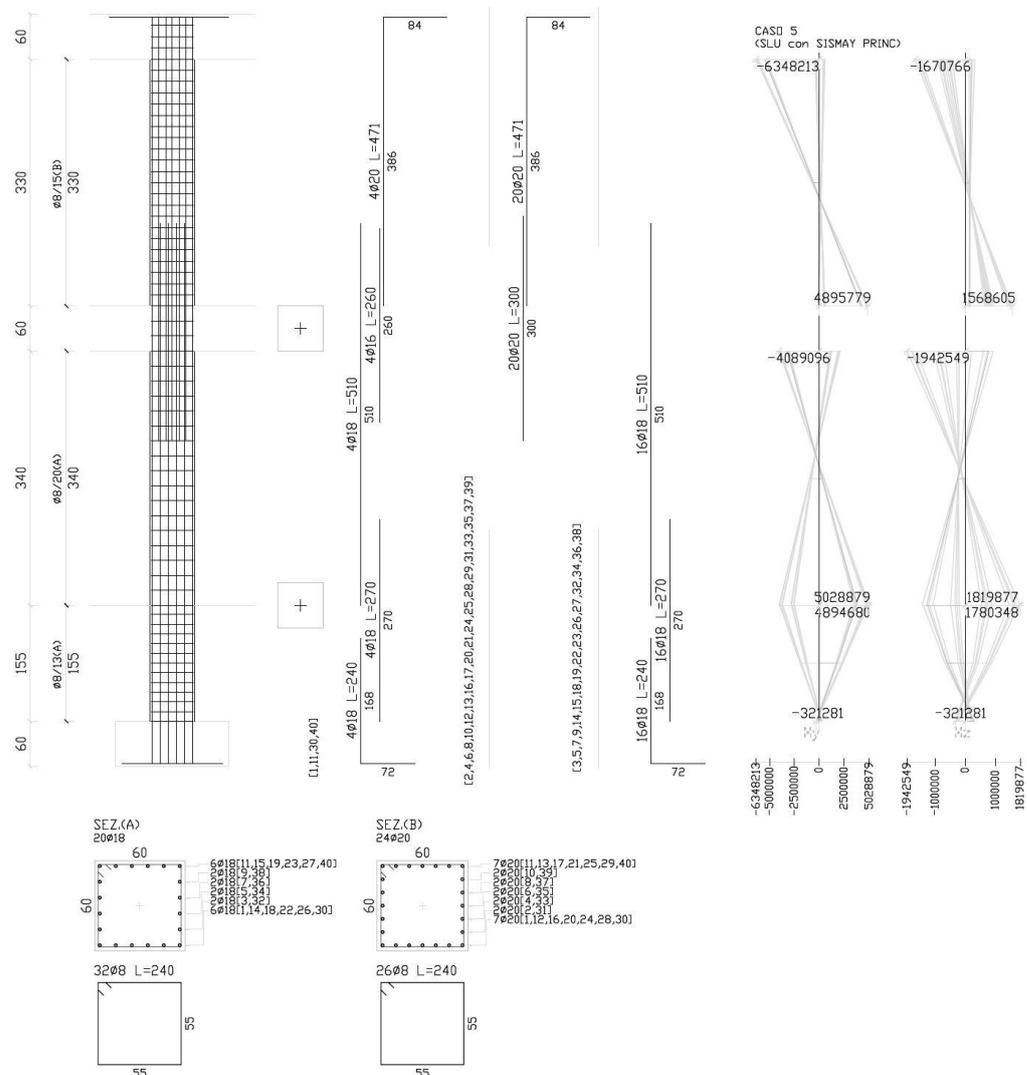


Figura 51 – Diagrammi di M_{yED} e M_{zED} per il caso di carico 5, pilastro P1.

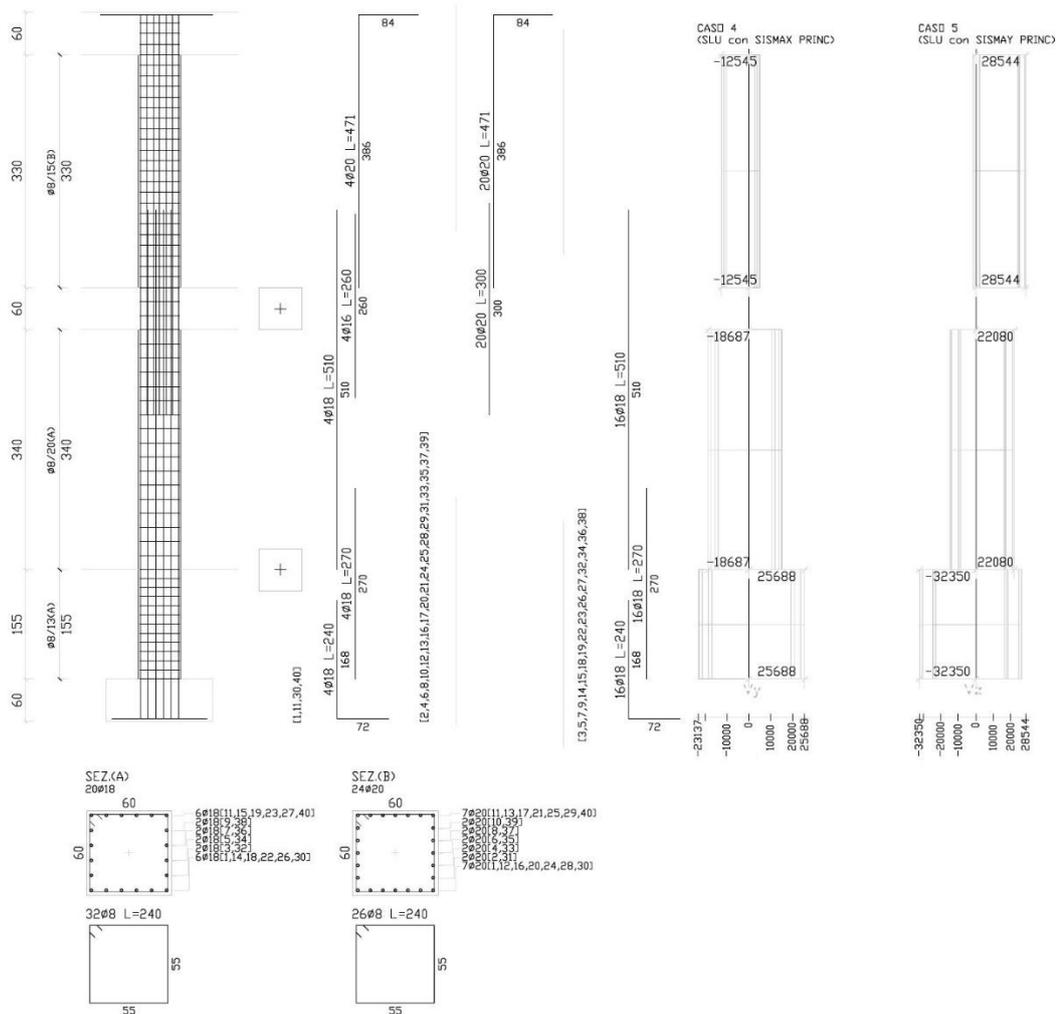
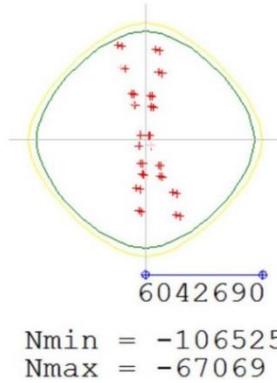


Figura 52 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P1.

Si procede estraendo i domini di interazione relativi al caso di carico 5, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

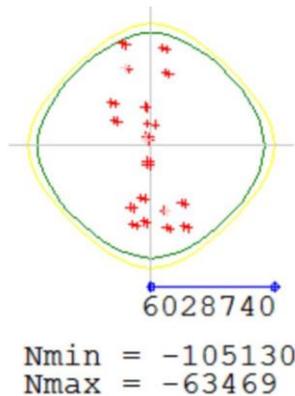
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 6042690$ daNcm = 604,26 kNm.



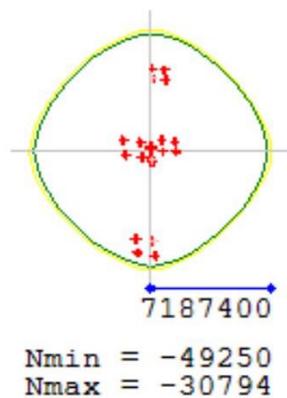
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0\text{ m}$ e $z=4,00\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 6028790$ daNcm=602,87 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00\text{ m}$ e $z=7,90\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 7187400$ daNcm=718,74 kNm.



Verifica a Pressoflessione							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 422.97	-42.68	449.01	-42.68	449.01	1	SI
7.90	-632.79	-478.55	739.37	-110.47	739.37	1	SI

Tabella 49 – Verifica a pressoflessione pilastro P1.

La verifica a pressoflessione risulta così soddisfatta.

Verifica a Taglio						
P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdv} [kN]	V _{Rcdv} [kN]	Caso	Verifica
0.00	110.40	232.83	232.83	742.23	4	SI
7.90	-72.57	221.19	221.19	676.24	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-147.89	232.83	232.83	742.23	5	SI
7.90	220.61	221.19	221.19	710.99	1	SI

Tabella 50 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P1.

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

PILASTRO P11

Il pilastro P11 a seguito dell'incamiciatura in c.a. ha sezione con diametro 90 cm.

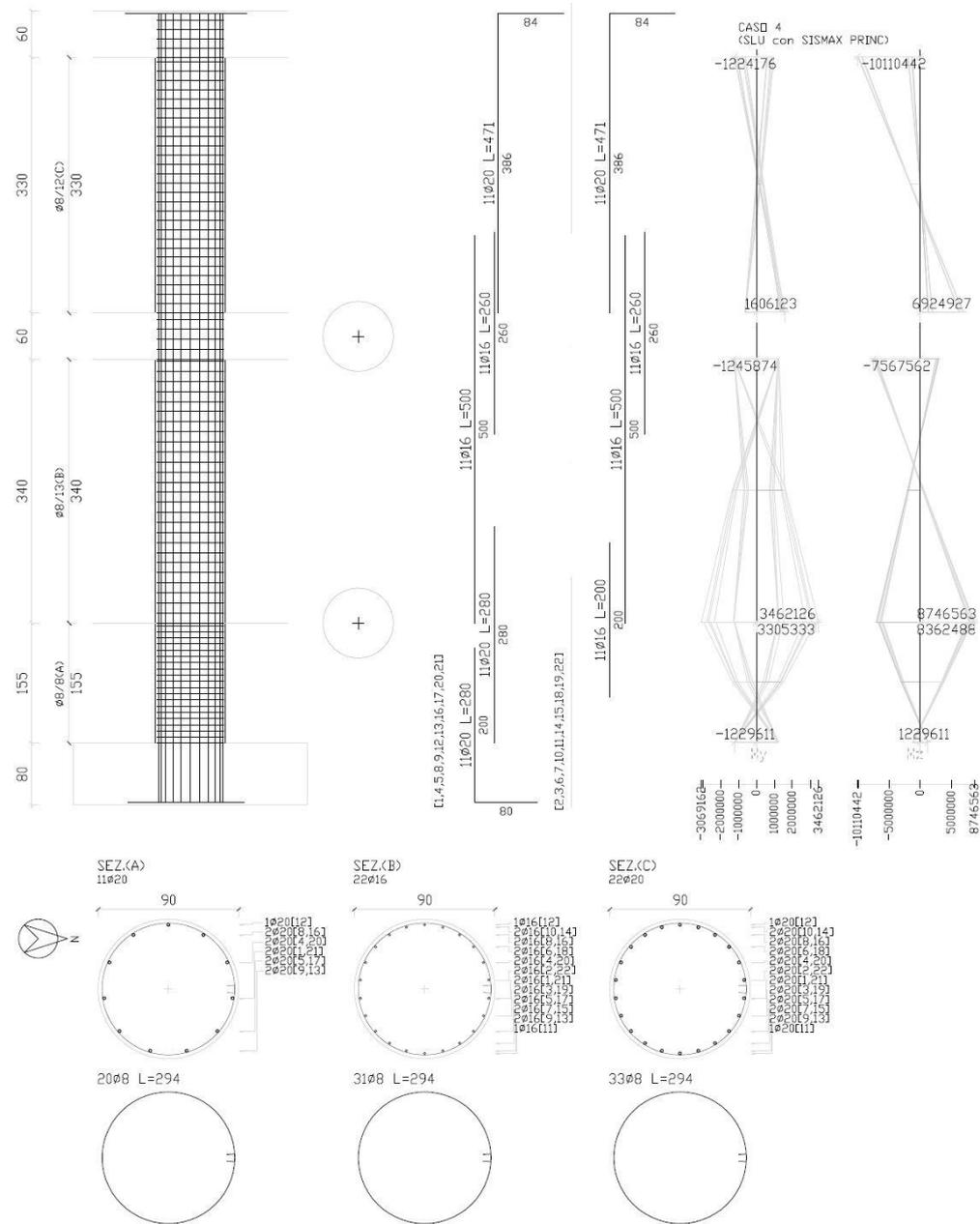


Figura 53 – Diagrammi di M_{yED} e M_{zED} per il caso di carico 4, pilastro P11.

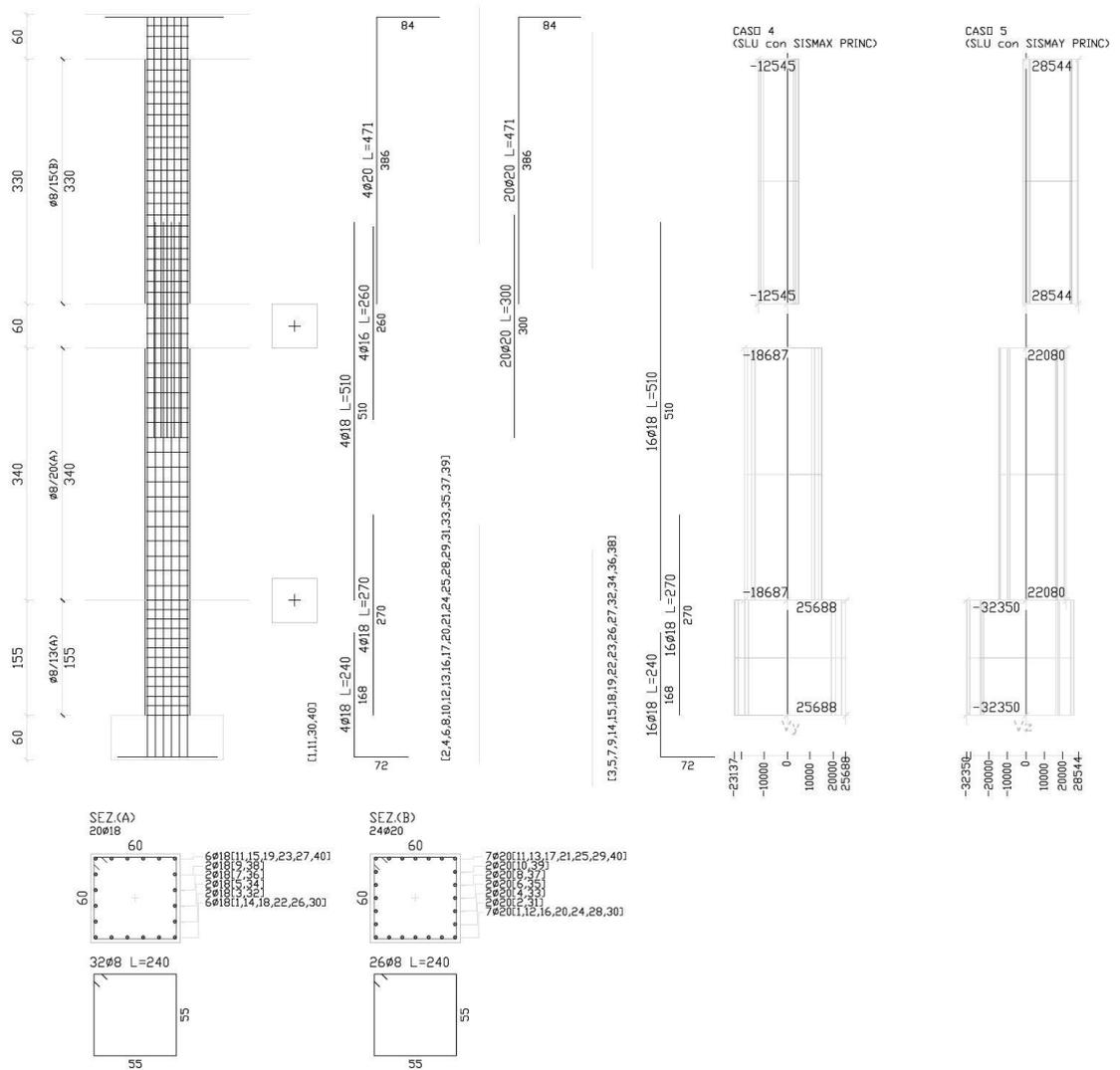
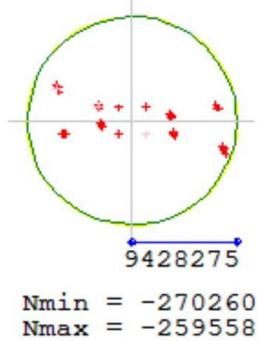


Figura 54 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P11.

Si procede estraendo i domini di interazione relativi al caso di carico 4, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

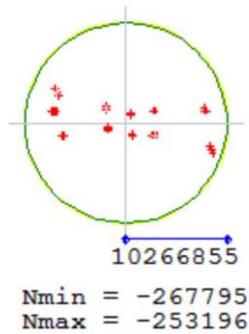
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 9428275$ daNcm = 942,82 kNm.



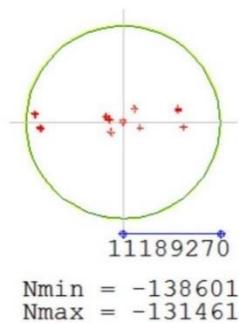
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0\text{ m}$ e $z=4,00\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 10266855$ daNcm = 1026,68 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00\text{ m}$ e $z=7,90\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 11189270$ daNcm = 1118,92 kNm.



Verifica a Pressoflessione							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4265.6	-217.72	937.91	-217.72	937.91	1	SI
7.90	-1314.61	116.33	1 118.92	-1 028.44	1 118.92	4	SI

Tabella 51 – Verifica a pressoflessione pilastro P11.

La verifica a pressoflessione risulta così soddisfatta.

Verifica a Taglio						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	585.76	656.33	656.33	1 189.29	4	SI
7.90	-429.06	437.55	437.55	1 165.43	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-515.10	656.33	656.33	1 189.29	5	SI
7.90	177.06	437.55	437.55	1 166.87	5	SI

Tabella 52 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P11.

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

PILASTRO P17

Il pilastro P17 a seguito dell'intervento di adeguamento ha una sezione di 80x60 cm.

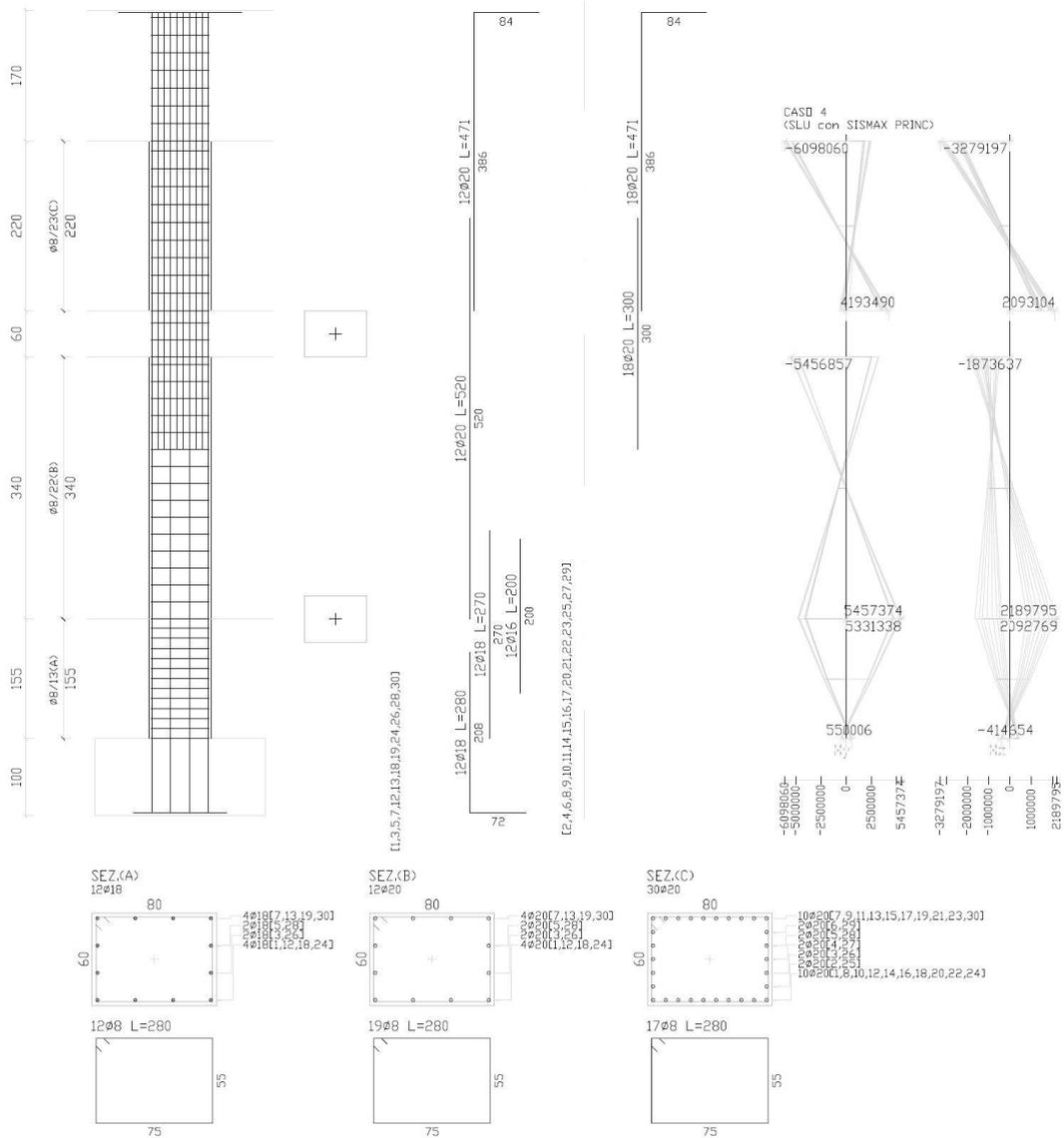


Figura 55 – Diagrammi di M_z e M_y per il caso di carico 4, pilastro P17.

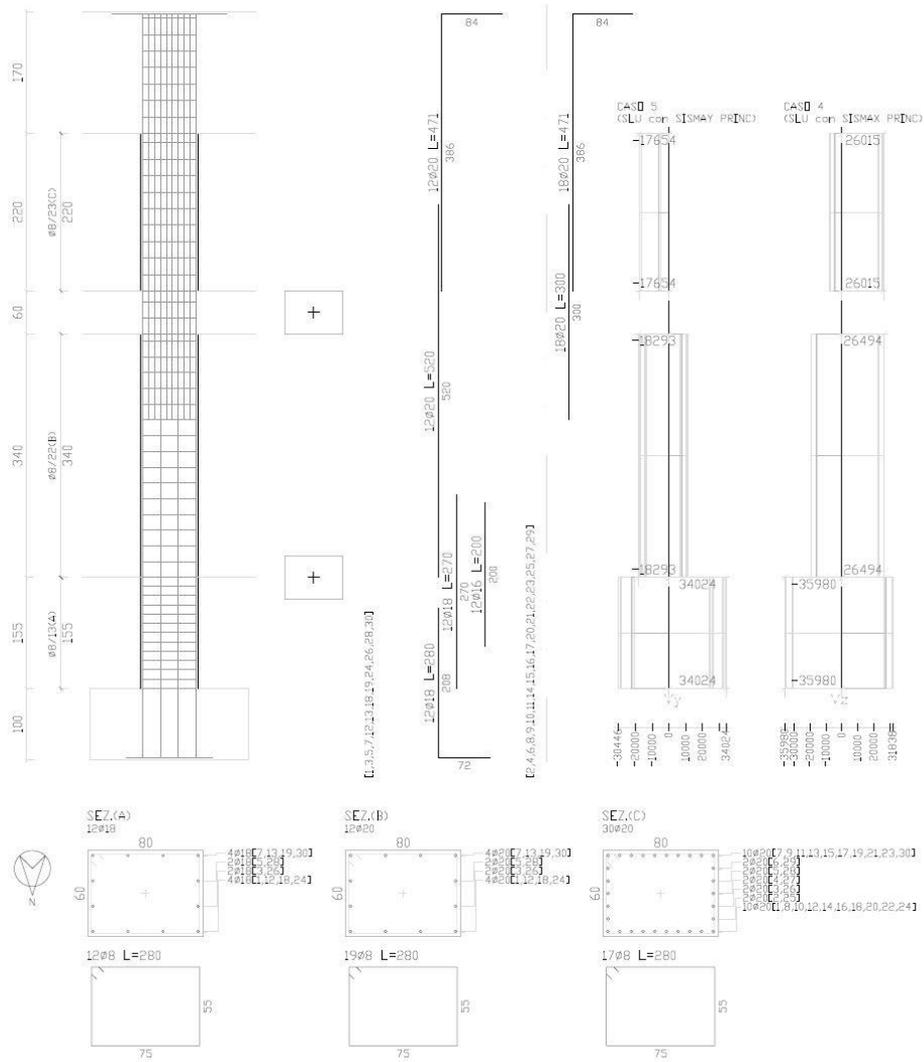


Figura 56– Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} , caso di carico 5 e 4, pilastro P17.

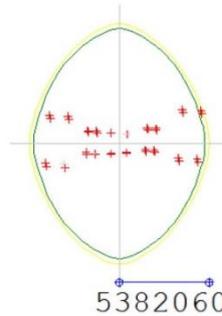
ASTA -->	1	2	3
SLU	SI	SI	SI
ESERCIZIO	SI	SI	SI
TAGLIO	SI	SI	SI
MEd/M0Ed	1.011 Z	1.061 Z	1.011 Z
% ARMATURE	SI .64	SI .79	SI 1.96
GENERALE	SI		

Tabella 53 – Verifiche sul pilastro P17.

Si procede estraendo i diagrammi di interazione relativi al caso di carico significativi per ogni asta, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

Asta 1

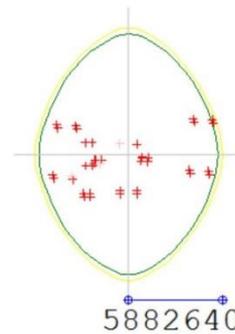
Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue riferito al caso di carico 5, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati, con $M_{yRd}=6928500\text{daNcm}=692.85\text{ kNm}$, $M_{zRd}=5382060\text{daNcm}=538.20\text{ kNm}$:



$$\begin{aligned} N_{\min} &= -138900 \\ N_{\max} &= -118803 \end{aligned}$$

Asta 2

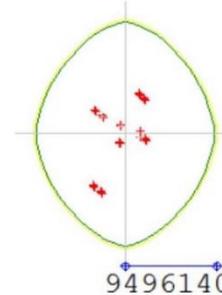
Per l'asta 2, compresa tra $z=0\text{ m}$ e $z=4,00\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue per il caso 5, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati, con $M_{yRd}=7576700\text{daNcm}=757.67\text{ kNm}$, $M_{zRd}=588.26\text{ kNm}$.



$$\begin{aligned} N_{\min} &= -137040 \\ N_{\max} &= -114003 \end{aligned}$$

Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00\text{ m}$ e $z=7,90\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue per il caso di carico 4, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} , con $M_{yRd}=1167840\text{daNcm}=1167.84\text{ kNm}$, $M_{xRd}=9496100\text{ daNcm}=949.61\text{ kNm}$.



$$\begin{aligned} N_{\min} &= -68620 \\ N_{\max} &= -49727 \end{aligned}$$

Verifica a Pressoflessione							
P17							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2031.54	-92.55	800.07	-72.61	593.63	1	SI
7.90	-638.51	-557.67	1194.82	-324.48	949.61	4	SI

Tabella 54 – Verifica a pressoflessione pilastro P17.

La verifica a pressoflessione risulta così soddisfatta.

Verifica a Taglio						
P17						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	340.24	340.29	340.29	989.64	5	SI
7.90	-188.73	192.34	192.34	956.96	1	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-359.80	460.75	460.75	1 004.97	4	SI
7.90	260.15	260.42	260.42	930.11	4	SI

Tabella 55 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P17.

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

4.9. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DELLA STRUTTURA

L'intervento di miglioramento sismico è stato svolto su un nuovo modello di calcolo, in cui ai pilastri sono state assegnate le sezioni definite per le incamiciature, e le armature delle incamiciature sono state progettate imponendo il parametro $\zeta_E=0,4$. Secondo la Circolare Ministeriale infatti è necessario aumentare del 10% il valore di ζ_E ottenuto per la struttura esistente.

Sono state quindi svolte le Analisi Dinamica e Statica Lineari per determinare la conformazione della struttura post-intervento, in particolare la posizione del centro di massa e del baricentro delle rigidezze, e i modi di vibrare della struttura a seguito dell'irrigidimento dovuto agli interventi.

A seguito degli interventi, il centro di massa e il baricentro delle rigidezze coincidono con il caso di adeguamento sismico perché effettivamente le sezioni dei pilastri sono rimaste invariate, al fine di effettuare le incamiciature; nel computo delle rigidezze è infatti considerato solo il calcestruzzo. Ciò che è cambiata è la progettazione delle armature dei pilastri, avendo diminuito la vulnerabilità sismica.

4.9.1. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE E A TAGLIO

Anche con gli interventi di miglioramento si è provveduto ad intervenire sia sulle vulnerabilità sismiche che sulle condizioni di normale utilizzo.

Di seguito vengono riportati in modo completo le verifiche dei pilastri visti per la struttura prima dell'intervento, e per la struttura adeguata, al fine di effettuare un confronto tra i due interventi e con la struttura prima dell'intervento.

PILASTRO P1

Il pilastro P1 a seguito dell'incamiciatura in c.a. ha sezione 60x60cm.

Di questo sono state riprogettate le armature ed effettuate le verifiche a pressoflessione e a taglio con il Programma di calcolo come segue.

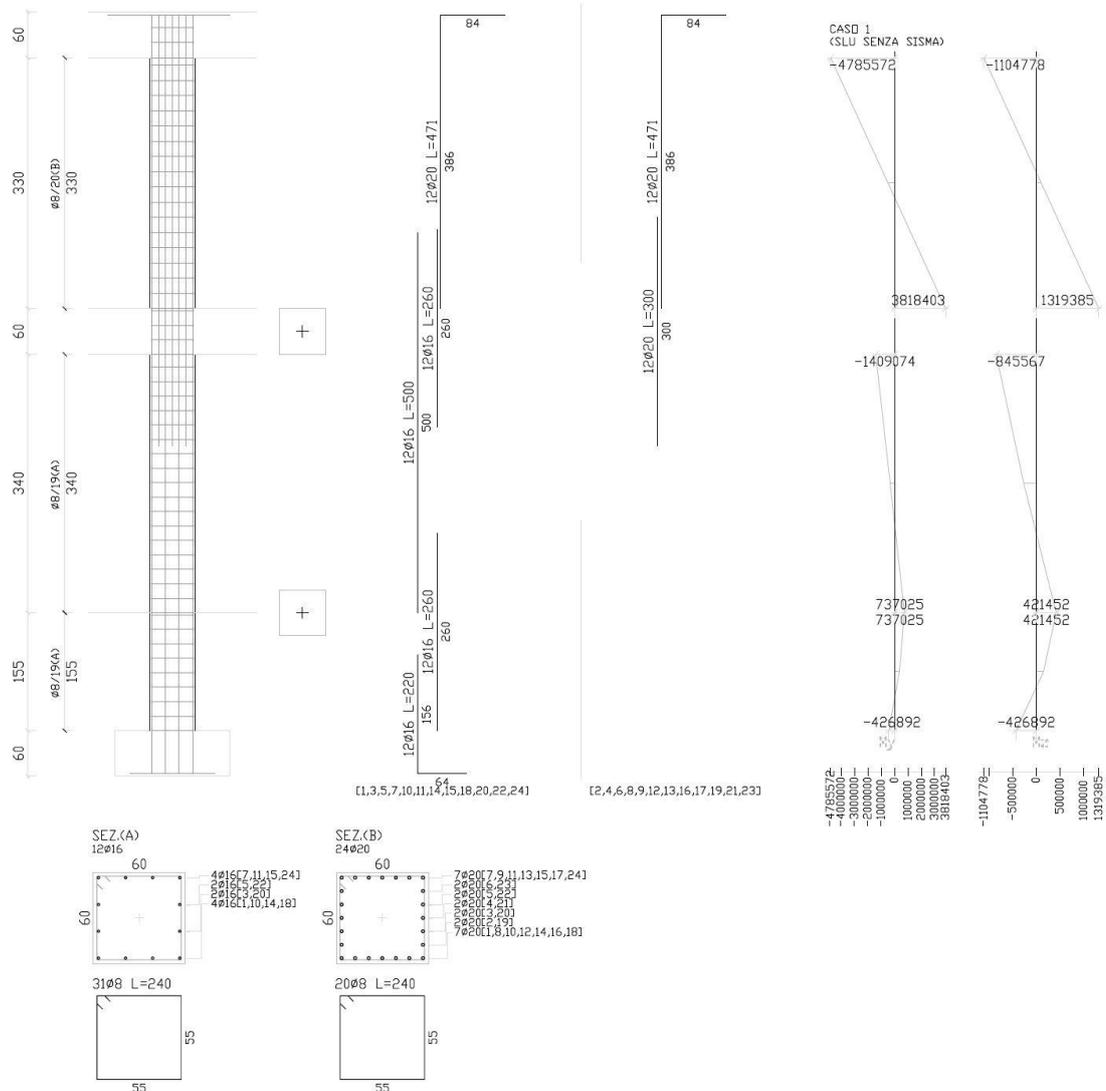


Figura 57– Diagrammi di M_{ZED} M_{YED} per il caso di carico 1, pilastro P1.

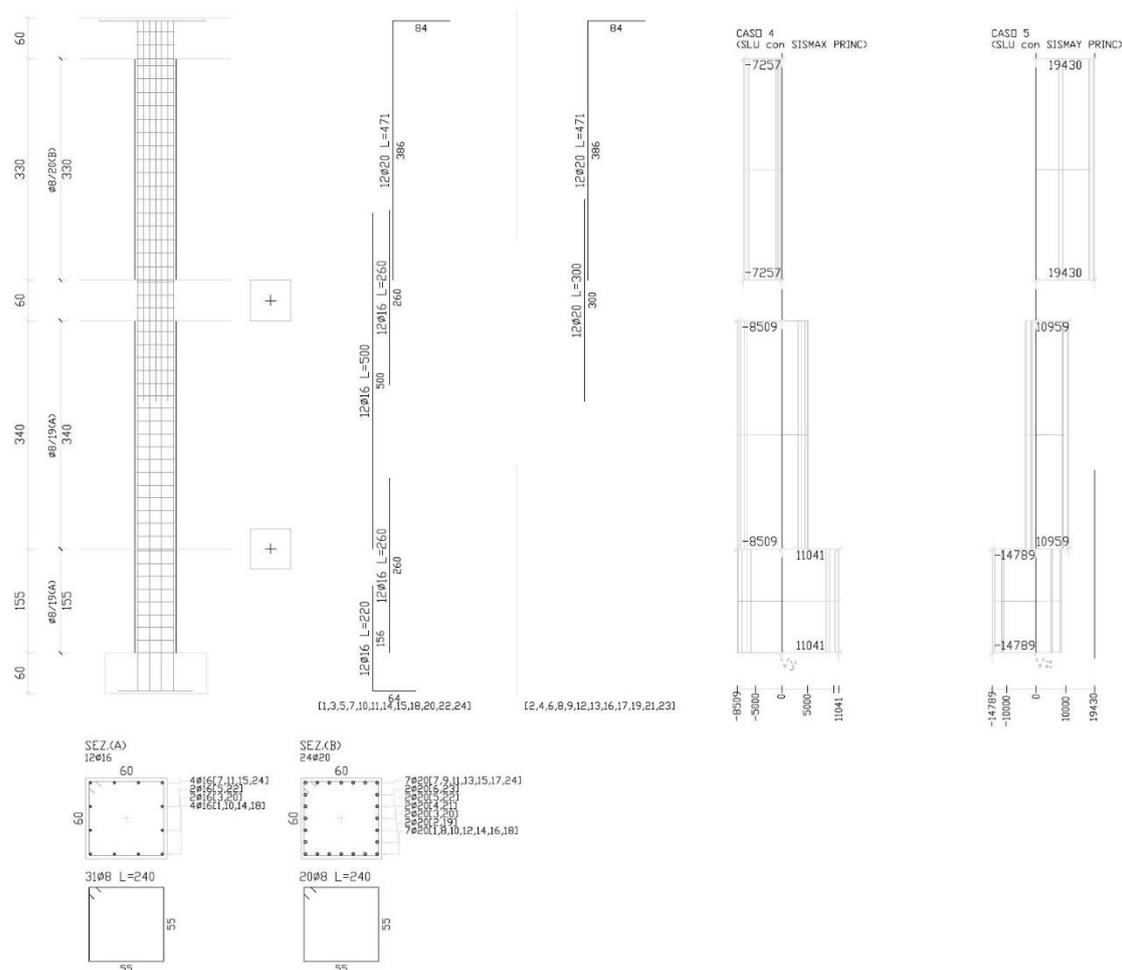
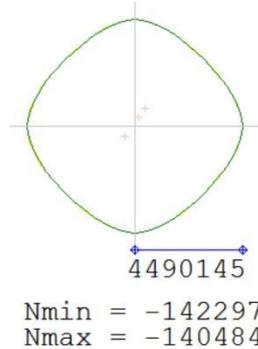


Figura 58 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P1.

Di seguito sono riportati i domini di interazione relativi al caso di carico 5, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti, e da cui si può trarre la conferma del soddisfacimento della verifica di resistenza.

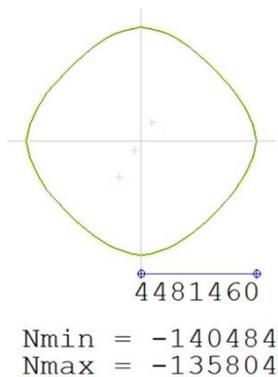
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 4490145$ daNcm = 449,01 kNm.



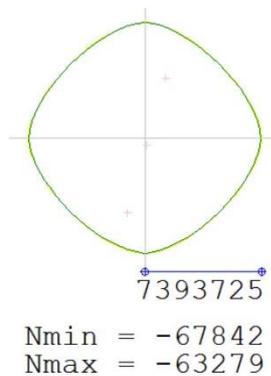
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0\text{ m}$ e $z=4,00\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 4481460$ daNcm = 448,14 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00\text{ m}$ e $z=7,90\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd} = 7393525$ daNcm = 739,37 kNm.



Verifica a Pressoflessione							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 422.97	-42.68	449.01	-42.68	449.01	1	SI
7.90	-632.79	-478.55	739.37	-110.47	739.37	1	SI

Tabella 56 – Verifica a pressoflessione pilastro P1.

La verifica a pressoflessione risulta così soddisfatta.

Verifica a Taglio						
P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	110.40	232.83	232.83	742.23	4	SI
7.90	-72.57	221.19	221.19	676.24	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-147.89	232.83	232.83	742.23	5	SI
7.90	220.61	221.19	221.19	710.99	1	SI

Tabella 57 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P1.

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

PILASTRO P11

Il pilastro P11 a seguito dell'incamiciatura in c.a. ha sezione con diametro 90 cm.

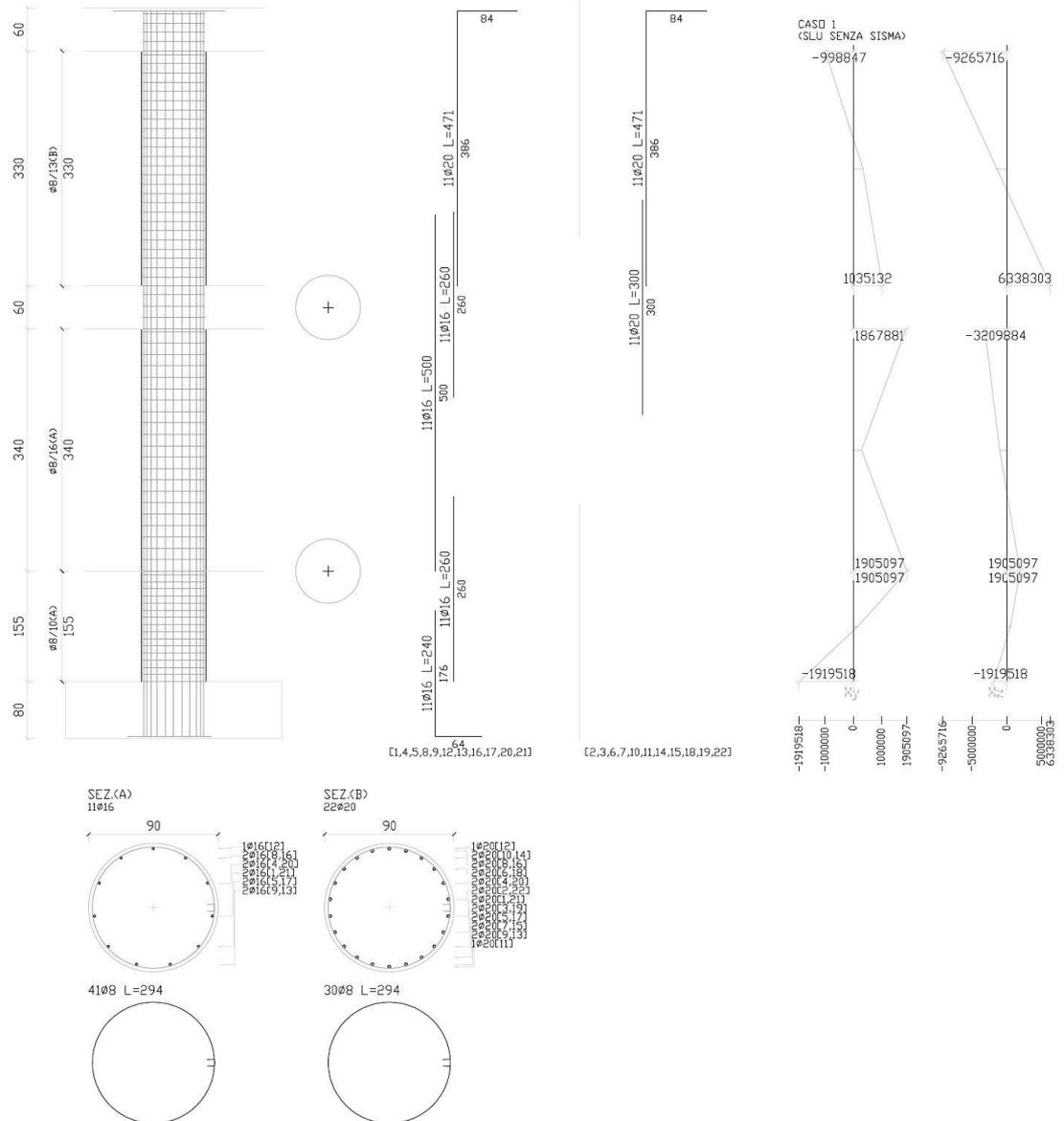


Figura 59 – Diagrammi di M_{ZED} e M_{YED} per il caso di carico 1, pilastro P11.

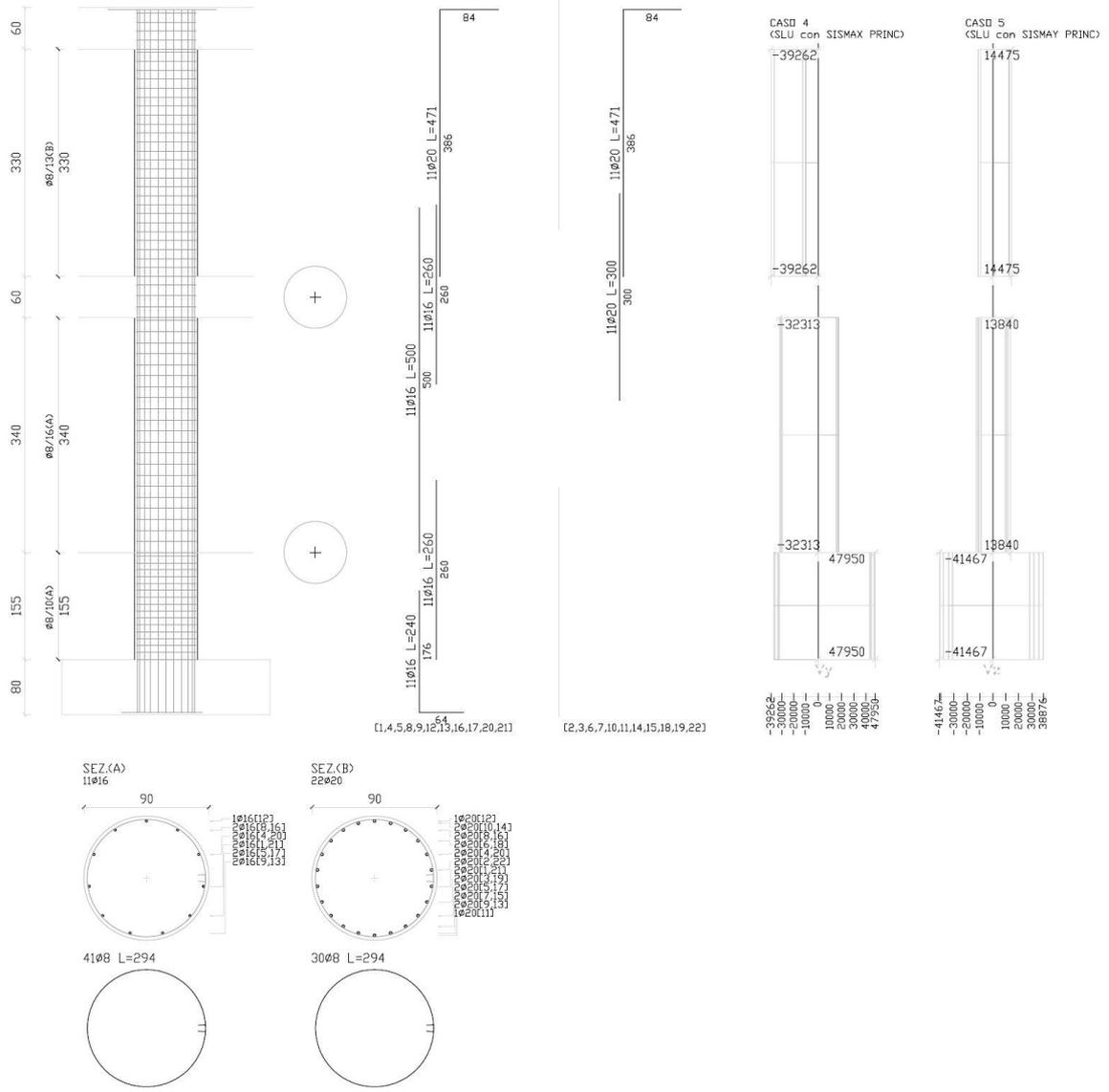
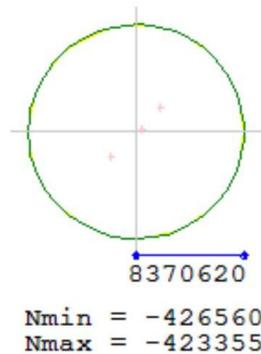


Figura 60 – Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P11.

Si procede estraendo i domini di interazione relativi al caso di carico 1, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

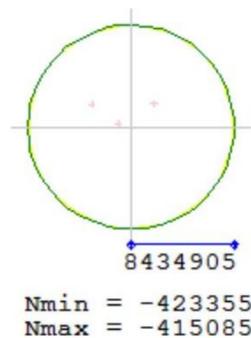
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daN, con M_{yRd} , $M_{xRd}=8370620$ daNcm=837,06kNm.



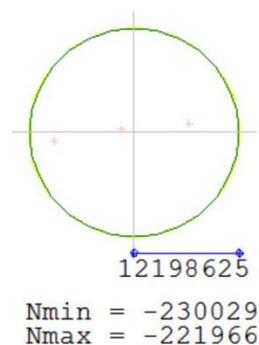
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0\text{ m}$ e $z=4,00\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd}=8434905$ daNcm=843,49 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00\text{ m}$ e $z=7,90\text{ m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati in daNcm, con M_{yRd} , $M_{xRd}=12198625$ daNcm=1219,86 kNm.



Verifica a Pressoflessione							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4265.6	-191.95	837,06	-191.95	837,06	1	SI
7.90	-2219.66	-99.88	1219,86	-926.57	1219,86	1	SI

Tabella 58 – Verifica a pressoflessione pilastro P11.

La verifica a pressoflessione risulta così soddisfatta.

Verifica a Taglio						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	266.97	276.35	276.35	1 189.29	4	SI
7.90	-400.10	403.89	403.89	1 189.29	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-213.81	403.89	403.89	1 189.29	5	SI
7.90	80.11	403.89	403.89	1 166.70	5	SI

Tabella 59 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P11.

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

PILASTRO P17

Il pilastro P17 a seguito dell'intervento di adeguamento ha una sezione di 80x60 cm.

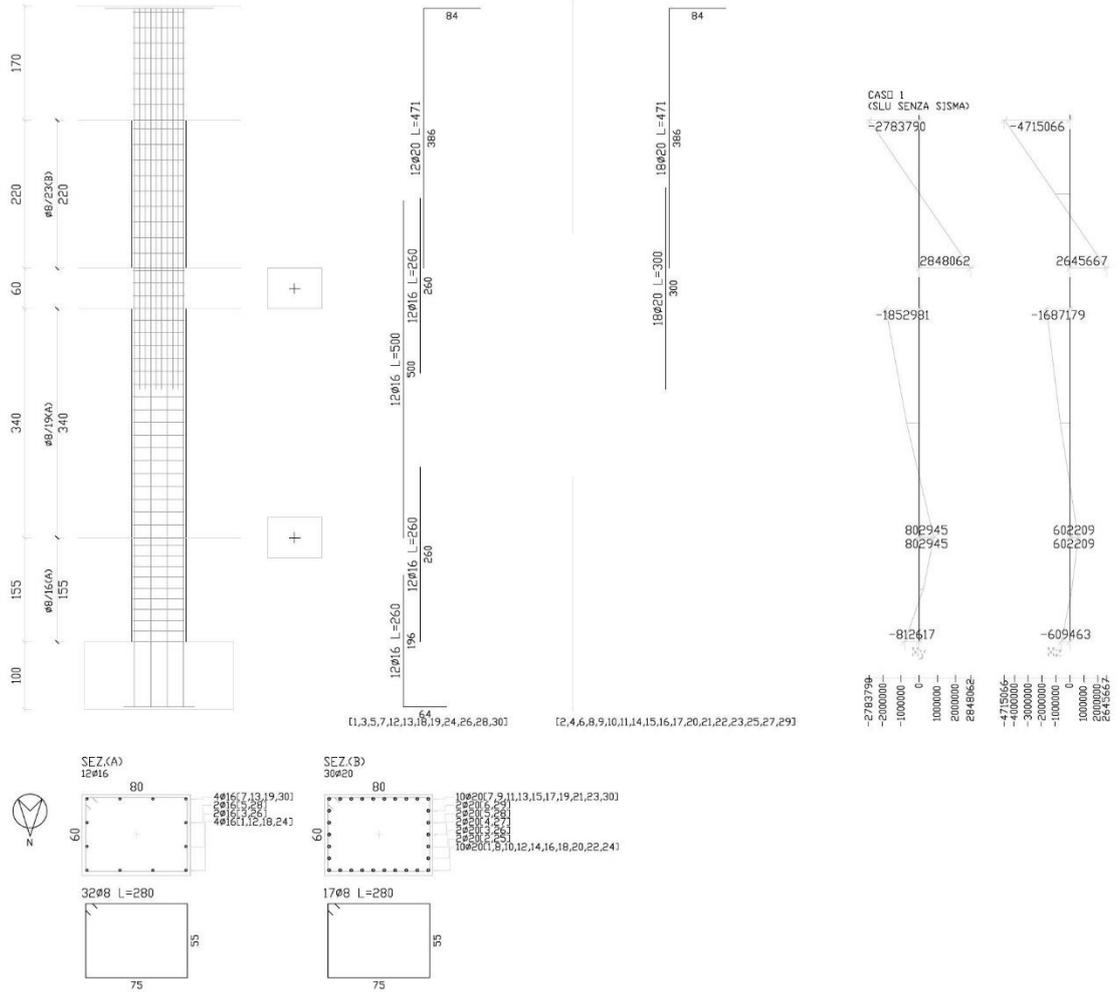


Figura 61 – Diagrammi di M_{ED} e M_{YED} per il caso di carico 1, pilastro P17.

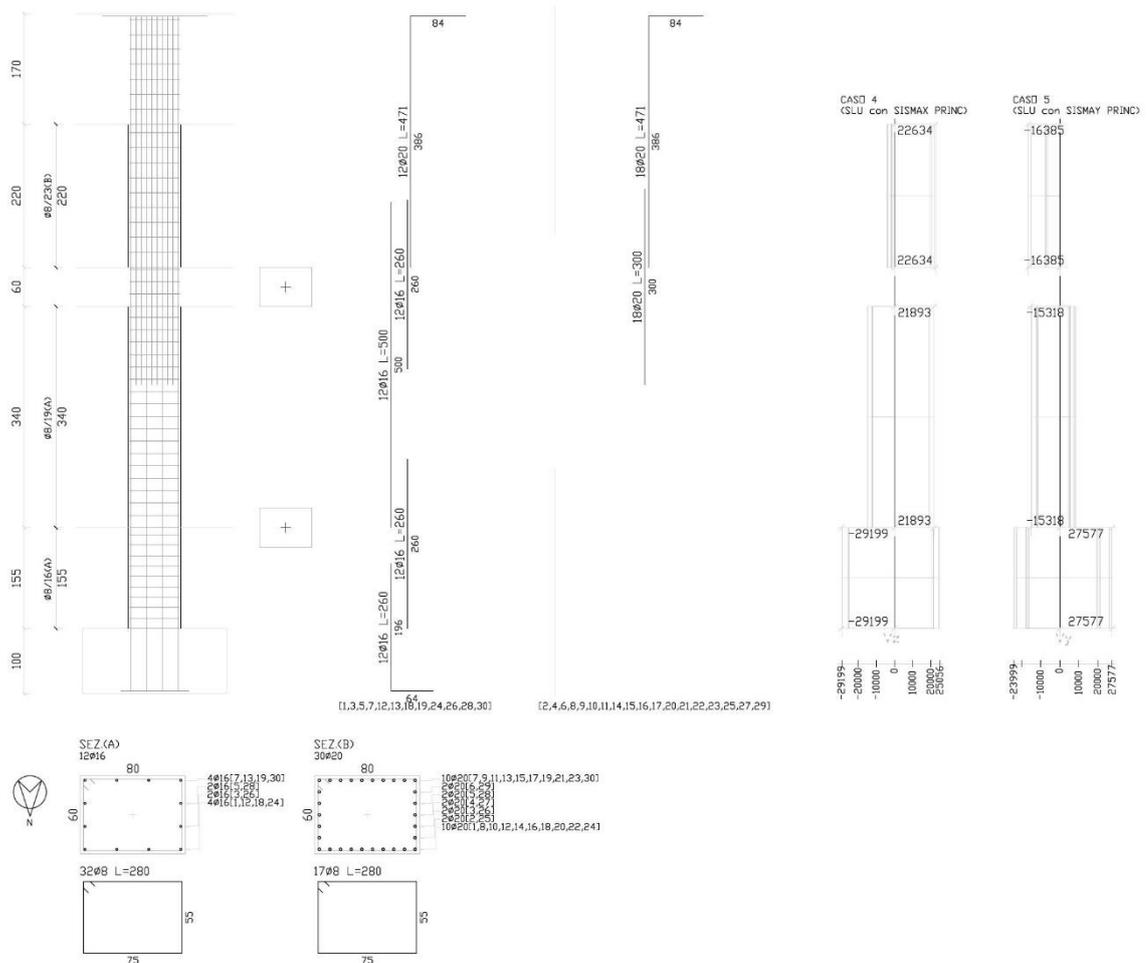
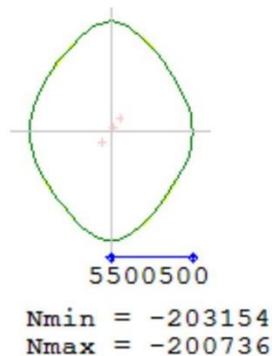


Figura 62– Diagrammi di V_{yED} e V_{zED} per i casi di carico 4 e 5, pilastro P17.

Si procede estraendo i diagrammi di interazione relativi al caso di carico significativi per ogni asta, da cui è possibile individuare i momenti resistenti nelle sezioni corrispondenti.

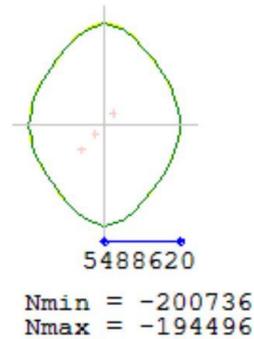
Asta 1

Per l'asta 1, compresa tra $z=-1,55\text{m}$ e $z=0\text{m}$, ricaviamo il diagramma di interazione che segue riferito al caso di carico 1, relativo agli N_{\min} e al N_{\max} riportati, con $M_{yRd}=7412800 \text{ daNcm}=741,28 \text{ kNm}$, $M_{zRd}=5500500 \text{ daNcm}=550,05 \text{ kNm}$:



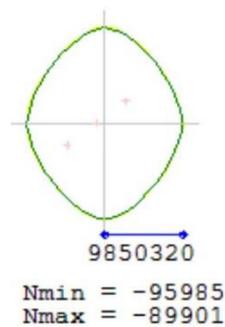
Asta 2

Per l'asta 2, compresa tra $z=0$ m e $z=4,00$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue per il caso 1, relativo agli N_{min} e al N_{max} riportati, con $M_{yRd}=7397120$ daNcm=739.71 kNm, $M_{zRd}=5488620$ daNcm=548.86 kNm.



Asta 3

Per l'asta 3, compresa tra $z=4,00$ m e $z=7,90$ m, ricaviamo il diagramma di interazione che segue per il caso di carico 1, relativo agli N_{min} e al N_{max} dati, con $M_{yRd}=12324200$ daNcm=1232.42 kNm, $M_{xRd}=9850320$ daNcm=985.03 kNm.



Verifica a Pressoflessione							
P17							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2031.54	-81.26	739.71	-60.94	550.05	1	SI
7.90	-899.01	-278.37	1210.05	-471.5	985.03	1	SI

Tabella 60 – Verifica a pressoflessione pilastro P17.

Verifica a Taglio						
P17						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	146.83	232.83	232.83	989.64	5	SI
7.90	-188.73	192.34	192.34	956.06	1	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-156.35	315.25	315.25	1 004.97	4	SI
7.90	158.72	260.42	260.42	925.13	4	SI

Tabella 61 – Verifica di resistenza a taglio del pilastro P17.

La verifica a pressoflessione e la verifica a taglio risultano soddisfatte.

Viene adesso riportata la tabella di confronto delle armature nei pilastri, nella struttura esistente e nella struttura dopo gli interventi di miglioramento e di adeguamento sismico. Sia con gli interventi di adeguamento che con quelli di miglioramento è possibile notare che nella progettazione delle armature viene privilegiato un quantitativo di armature molto elevato per la sommità dei pilastri; questo è riconducibile al fatto che mentre il momento sollecitante rimane pressoché simile in ordine di grandezza per ogni piano, lo sforzo normale cambia notevolmente passando dal piede alla testa del pilastro, diminuendo sensibilmente.

Difatti lo sforzo normale N_{ED} contribuisce ad un effetto stabilizzante nella sezione del pilastro, ma il fatto che decresca così tanto verso la testa del pilastro, a fronte di un momento sollecitante M_{ED} poco variabile, potrebbe determinare un effetto destabilizzante nella sezione. Con la progettazione delle armature questo effetto viene considerato automaticamente, cosicché viene inserita una percentuale di armatura molto più elevata alla sommità, rispetto al piede del pilastro.

PILASTRO	z [cm]	ARMATURE LONGITUDINALI			ARMATURE TRASVERSALI		
		ESISTENTE	STRUTTURA ADEGUATA	STRUTTURA MIGLIORATA	ESISTENTE	STRUTTURA ADEGUATA	STRUTTURA MIGLIORATA
P1	-155 - 0	8φ16	20φ18	12φ16	φ8/20	φ8/13	φ8/19
	0 - 400	8φ16	20φ18	12φ16	φ8/20	φ8/20	φ8/19
	400 - 790	8φ14	24φ20	24φ20	φ8/20	φ8/15	φ8/20
P2	-155 - 0	8φ18	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/13	φ8/19
	0 - 400	8φ18	20φ18	12φ16	φ8/20	φ8/18	φ8/19
	400 - 790	8φ16	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/22	φ8/19
P3	-155 - 0	8φ18	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/13	φ8/19
	0 - 400	8φ18	16φ16+4φ18	12φ16	φ8/20	φ8/18	φ8/19
	400 - 790	8φ16	20φ20	20φ20	φ8/20	φ8/20	φ8/20
P4	-155 - 0	8φ18	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/13	φ8/19
	0 - 400	8φ18	20φ16	12φ16	φ8/20	φ8/18	φ8/19
	400 - 790	8φ18	26φ20	26φ20	φ8/20	φ8/18	φ8/18
P5	-155 - 0	8φ18	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/11	φ8/19
	0 - 400	8φ18	20φ16	12φ16	φ8/20	φ8/20	φ8/19
	400 - 790	8φ16	26φ20	26φ20	φ8/20	φ8/15	φ8/15
P6	-155 - 0	8φ16	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/11	φ8/19
	0 - 400	8φ16	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/24	φ8/19
	400 - 790	8φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P7	-155 - 0	8φ16	8φ18+4φ20	12φ16	φ8/20	φ8/17	φ8/19
	0 - 400	8φ16	8φ18+4φ20	12φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19
	400 - 790	8φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P8	-155 - 0	8φ18	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/17	φ8/19
	0 - 400	8φ18	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ16	26φ20	26φ20	φ8/20	φ8/22	φ8/22
P9	-155 - 0	8φ18	20φ20	12φ16	φ8/20	φ8/10	φ8/19
	0 - 400	8φ18	20φ20	12φ16	φ8/20	φ8/16	φ8/19
	400 - 790	8φ16	20φ20	12φ16	φ8/20	φ8/16	φ8/19
P10	-155 - 0	12φ20	17φ16	8φ16	φ8/20	φ8/12	φ8/19
	0 - 400	12φ20	17φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	12φ22	8φ18	8φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19

PILASTRO	z [cm]	ARMATURE LONGITUDINALI			ARMATURE TRASVERSALI		
		ESISTENTE	STRUTTURA ADEGUATA	STRUTTURA MIGLIORATA	ESISTENTE	STRUTTURA ADEGUATA	STRUTTURA MIGLIORATA
P11	-155 - 0	12φ20	11φ20	11φ16	φ8/20	φ8/8	φ8/19
	0 - 400	12φ20	22φ16	11φ16	φ8/20	φ8/13	φ8/19
	400 - 790	8φ22	22φ20	22φ20	φ8/20	φ8/12	φ8/13
P12	-155 - 0	12φ20	11φ18	11φ16	φ8/20	φ8/9	φ8/19
	0 - 400	12φ20	11φ20	11φ16	φ8/20	φ8/17	φ8/19
	400 - 790	8φ22	11φ18	11φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19
P13	-155 - 0	12φ20	11φ16	11φ16	φ8/20	φ8/10	φ8/19
	0 - 400	12φ20	11φ18	11φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ22	11φ16	11φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P14	-155 - 0	10φ20	10φ16	10φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	10φ20	6φ16+4φ18	10φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ18	6φ16+4φ18	10φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P15	-155 - 0	8φ16	12φ16	10φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P16	-155 - 0	8φ16	20φ18	12φ16	φ8/20	φ8/9	φ8/19
	0 - 400	8φ16	20φ18	8φ16+4φ18	φ8/20	φ8/18	φ8/17
	400 - 790	8φ14	20φ20	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/21
P17	-155 - 0	10φ18	12φ18	12φ16	φ8/20	φ8/13	φ8/19
	0 - 400	10φ18	12φ20	12φ16	φ8/20	φ8/22	φ8/19
	400 - 790	8φ16	30φ20	30φ20	φ8/20	φ8/23	φ8/23
P18	-155 - 0	10φ18	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/15	φ8/19
	0 - 400	10φ18	12φ18	12φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19
P19	-155 - 0	10φ20	14φ16	14φ16	φ8/20	φ8/11	φ8/19
	0 - 400	10φ20	14φ16	14φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ18	32φ20	32φ20	φ8/20	φ8/21	φ8/15
P20	-155 - 0	8φ18	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ18	8φ18	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ16	8φ18	8φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19
P21	-155 - 0	8φ18	12φ18	12φ16	φ8/20	φ8/12	φ8/19
	0 - 400	8φ18	8φ18+4φ20	12φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19
	400 - 477	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P22	-155 - 0	8φ18	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ18	12φ18	12φ16	φ8/20	φ8/21	φ8/19
	400 - 579	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P23	-155 - 0	10φ18	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	10φ18	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 710	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P24	-155 - 0	8φ16	8φ18+4φ20	8φ16	φ8/20	φ8/14	φ8/19
	0 - 400	8φ16	20φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P25	-155 - 0	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 477	8φ14	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P26	-155 - 0	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 579	8φ14	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P27	-155 - 0	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 710	8φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P28	-155 - 0	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P29	-155 - 0	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 790	8φ14	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P30	-155 - 0	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 710	8φ14	8φ16	8φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P31	-155 - 0	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 710	5φ16 + 3φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P32	-155 - 0	8φ16	12φ18	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	0 - 400	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
	400 - 710	8φ14	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P33	1.94 - 710	8φ16	12φ16	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P34	1.94 - 710	8φ16	12φ18	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19
P35	1.76 - 400	8φ16	24φ20	12φ16	φ8/20	φ8/19	φ8/19

Tabella 62 – Tabella di confronto delle armature dei pilastri.

Nelle pagine che seguono vengono confrontate le verifiche di sollecitazione a pressoflessione e taglio per i tre pilastri P1, P11 e P17 che sono stati studiati per lo stato di fatto e a seguito gli interventi di miglioramento e adeguamento sismico.

Si può notare che a seguito degli interventi, in cui è previsto un ingrossamento cospicuo delle sezioni, lo sforzo normale N_{ED} aumenta in modo notevole, come ci possiamo aspettare, in particolare al piede delle pilastrate.

Allo stesso tempo, nel caso della verifica a pressoflessione, le sollecitazioni di momento lungo y e lungo z aumentano in particolare nella sommità dei pilastri, mentre rimangono pressoché costanti al piede dei pilastri; come già osservato per il confronto tra lea armature, lo sforzo normale N_{ED} diminuisce circa la metà passando dal piede alla testa dei pilastri, e le armature longitudinali in sommità saranno di una quantità maggiore per far fronte a questo effetto destabilizzante, associato all'aumento di M_{ED} .

I momenti resistenti aumentano notevolmente, a seguito dell'aumento delle sezioni e delle carpenterie.

Gli sforzi di taglio V_{ED} aumentano in modo proporzionale con gli adeguamenti, mentre per il taglio resistente si può notare che lo sforzo di resistenza a taglio compressione cresce notevolmente, poiché dipende dall'anima del calcestruzzo e quindi dalle sezioni importanti che sono state progettate; lo sforzo resistente di taglio trazione dipende dalle armature, ed è pressoché paragonabile a quello dello stato di fatto.

Quanto detto vale per tutti e tre i pilastri, poiché la modalità di intervento è stata la stessa, e il Programma Dolmen applica lo stesso metodo di progettazione per tutti.

Tra il caso di miglioramento e di adeguamento, è possibile osservare che le armature aggiunte nell'adeguamento non sono di un quantitativo eccessivamente più alto rispetto a quelle progettate nel miglioramento.

Con il Programma di calcolo vengono riprogettate le armature ex-novo, senza considerare le armature esistenti, e relativamente alle nuove sezioni.

I pilastri riprogettati in questo modo permettono di ridistribuire i carichi nell'organismo edilizio, declassando la struttura esistente al solo compito di contribuire al sostegno dei carichi verticali; i nuovi elementi invece sono finalizzati a sostenere la struttura anche nel caso della presenza di azioni sismiche orizzontali.

Di seguito vengono riportate le tabelle di cui sono appena stati interpretati i risultati; la valutazione tra l'intervento più idoneo sarà fatta a seguito della definizione della Classe di Rischio post-interventi, valutando la progettazione appena svolta, i costi stimabili per effettuare le opere e la sicurezza della struttura post-interventi.

In **Allegato A** sono riportate le tabelle relative a tutti gli elementi pilastri a seguito delle opere di intervento; ogni pilastro può presentare un proprio comportamento, in funzione anche di dove è collocato. Il pilastro P1 è un pilastro d'angolo, mentre il pilastro P11 è un pilastro interno e il pilastro P17 è un pilastro di bordo.

PILASTRO P1

Verifica a Pressoflessione

CASO SISMICO - STATO DI FATTO							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-875.63	-22.72	182.62	-22.72	182.62	1	SI
7.90	-384.92	-295.88	139.38	-48.05	139.38	5	NO
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 422.97	-42.68	449.01	-42.68	449.01	1	SI
7.90	-632.79	-478.55	739.37	-110.47	739.37	1	SI
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO							
P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 422.29	-50.39	626.00	-50.39	626.00	1	SI
7.90	-457.40	-622.16	718.74	-85.70	718.74	5	SI

Tabella 63– Verifiche a flessione prima e dopo gli interventi, pilastro P1.

Verifica a Taglio

CASO SISMICO - STATO DI FATTO						
P1						
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	80.82	242.30	242.30	383.60	4	SI
7.90	-54.95	242.30	242.30	370.77	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-99.80	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.90	130.55	242.30	242.30	372.89	5	SI
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO						
P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	110.40	232.83	232.83	742.23	4	SI
7.90	-72.57	221.19	221.19	676.24	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-147.89	232.83	232.83	742.23	5	SI
7.90	220.61	221.19	221.19	710.99	1	SI
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO						
P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	256.88	340.29	340.29	742.23	4	SI
7.90	-125.44	294.92	294.92	678.93	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-323.49	340.29	340.29	742.23	5	SI
7.90	285.43	294.92	294.92	681.09	5	SI

Tabella 64 – Verifiche a taglio prima e dopo gli interventi, pilastro P1.

PILASTRO P11

Verifica a Pressoflessione

CASO SISMICO - STATO DI FATTO							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2966.47	-121.35	634.6	-121.35	634.6	1	SI
7.90	-1353.15	81.26	416.42	-568.37	416.42	4	NO
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4265.6	-191.95	837.06	-191.95	837.06	1	SI
7.90	-2219.66	-99.88	1219,86	-926.57	1219,86	1	SI
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO							
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4265.6	-217.72	937.91	-217.72	937.91	1	SI
7.90	-1314.61	116.33	1 118.92	-1 028.44	1 118.92	4	SI

Tabella 65 – Verifiche a flessione prima e dopo gli interventi, pilastro P11.

Verifica a Taglio

CASO SISMICO - STATO DI FATTO						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	365.89	228.62	228.62	855.10	4	NO
7.90	-229.52	194.55	194.55	623.70	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-319.56	228.62	228.62	855.10	5	NO
7.90	87.09	194.55	194.55	623.70	5	SI
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	266.97	276.35	276.35	1 189.29	4	SI
7.90	-400.10	403.89	403.89	1 189.29	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-213.81	403.89	403.89	1 189.29	5	SI
7.90	80.11	403.89	403.89	1 166.70	5	SI
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO						
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	585.76	656.33	656.33	1 189.29	4	SI
7.90	-429.06	437.55	437.55	1 165.43	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-515.10	656.33	656.33	1 189.29	5	SI
7.90	177.06	437.55	437.55	1 166.87	5	SI

Tabella 66 – Verifiche a taglio prima e dopo gli interventi, pilastro P11.

PILASTRO P17

Verifica a Pressoflessione

CASO SISMICO - STATO DI FATTO							
P17							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1296.68	-46.19	288.27	-55.22	409.97	5	SI
7.90	-598.46	-264.35	206.02	-286.37	269.02	4	NO
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO							
P17							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2031.54	-81.26	739.71	-60.94	550.05	1	SI
7.90	-899.01	-278.37	1210.05	-471.5	985.03	1	SI
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO							
P17							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2031.54	-92.55	800.07	-72.61	593.63	1	SI
7.90	-638.51	-557.67	1194.82	-324.48	949.61	4	SI

Tabella 67 – Verifiche a flessione prima e dopo gli interventi, pilastro P17.

Verifica a Taglio

CASO SISMICO - STATO DI FATTO						
P17						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	146.81	323.06	323.06	575.39	5	SI
7.90	-145.53	323.06	323.06	575.39	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-175.36	375.06	375.06	593.78	4	SI
7.90	115.04	375.06	375.06	593.78	4	SI
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO						
P17						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	146.83	232.83	232.83	989.64	5	SI
7.90	-188.73	192.34	192.34	956.06	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-156.35	315.25	315.25	1 004.97	4	SI
7.90	158.72	260.42	260.42	925.13	4	SI
INTERVENTI DI ADEGUAMENTO						
P17						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdy} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	340.24	340.29	340.29	989.64	5	SI
7.90	-188.73	192.34	192.34	956.96	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-359.80	460.75	460.75	1 004.97	4	SI
7.90	260.15	260.42	260.42	930.11	4	SI

Tabella 68 – Verifiche a taglio prima e dopo gli interventi, pilastro P17.

4.10. INTERVENTI PER LE TRAVI

A seguito delle verifiche sulle travi, è stato constatato che per pochi elementi le verifiche di resistenza non sono soddisfatte, mentre nella maggior parte sono soddisfatte ma sono rispettate le prescrizioni geometriche dettate dalla normativa vigente, quali il passo staffe minimo e la percentuale di armatura minima.

Di seguito vengono riportati due esempi di intervento sulle travi, eseguite con il relativo Software.

SOLAIO QUOTA 25,10 m

TRAVE 14

La trave 14 allo stato di fatto non risulta verificata a flessione; essa è armata con 4 $\phi 14$ sia inferiormente che superiormente; le staffe sono $\phi 8/20$ a due bracci.

Si è proceduto con il calcolo delle fasce in fibra di carbonio e la successiva verifica della trave post-intervento, con l'ausilio del Software *T-System Carbon STRU*.⁴⁸

Sono state considerate le sollecitazioni del caso sismico, poiché più elevate del caso statico.

Una volta definiti i materiali, la geometria, le armature e le sollecitazioni agenti sulla trave nella sezione non verificata, sono state definite le fasce affinché le verifiche a flessione e a taglio fossero soddisfatte.

Dati per la verifica a flessione e taglio

Rinforzo a flessione

rinforzo CARBOSTRU® inferiore

2 nastri CARBOSTRU® - UDHM 400/10 1 strato

Larghezza (cm) 10.00 Spessore (mm) 0.225

rinforzo CARBOSTRU® superiore

4 nastri CARBOSTRU® - UDHM 400/10 2 strati

Larghezza (cm) 10.00 Spessore (mm) 0.450

rinforzo CARBOSTRU® laterale

2+2 nastri CARBOSTRU® - UDHM 400/10 2 strati

Larghezza (cm) 10.00 Spessore (mm) 0.450

nastro	posizione Y (cm)
1	50
2	50

nastro 1 posizione Yi 50 cm

SIDE CW

Rinforzo a taglio con CARBOSTRU®

configurazione raggio di curvatura degli spigoli (mm) 20.0

Configurazione U-JACKETING-45°

Archivio prodotti N. strati

geometria delle strisce di rinforzo

larghezza 0.00 cm spessore 0.000 mm

passo lungo 0.00 cm inclinazione β_1 45.0°

Solai in adiacenza H solai (cm) h/w cm

Rinforzo a taglio trave a spessore:

acciaio c1 8.8 $f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$

barre $\phi 12$

passo delle barre cm

numero di bracci

spessore adesivo t_a 1.00

spessore efficace del calcestruzzo t_c 20.00

Dati per la delaminazione Geometria OK

Figura 63 – Calcolo fibre in carbonio CARBOSTRU UDHM 400/10.

⁴⁸ Interbau, <https://www.interbau-srl.it/it>

Dopo aver definito la quantità e i punti in cui applicare le fibre, sono seguite le verifiche a flessione e taglio, per verificare il corretto funzionamento del sistema applicato alla trave in esame.

Come si evince dalla immagine che segue, tratta dal Software utilizzato, la sezione a seguito del rinforzo con le fasce soddisfa le verifiche di resistenza (SLU) previste secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.



Figura 64 – Verifica a flessione e a taglio della Trave 14 post-intervento.

TRAVATA 5

La travata 5 ha sezione 120x60 cm, ed ha come armatura inferiore 12 ϕ 20, mentre come armatura superiore 8 ϕ 20; le staffe sono ϕ 8/20 a due bracci.

Analogamente alla Trave 14, è stato fatto il calcolo delle fasce in fibra di carbonio e la successiva verifica della trave post-intervento con l'ausilio del Software *T-System Carbon STRU*. Sono state considerate le sollecitazioni del caso sismico, poiché più elevate del caso statico.

Una volta definiti i materiali, la geometria, le armature e le sollecitazioni agenti sulla trave nella sezione non verificata, sono state definite le fasce affinché le verifiche a flessione e a taglio fossero soddisfatte.

Questo elemento trave non soddisfa la verifica a flessione nel caso sismico. Di seguito gli interventi progettati con il Software T-System.

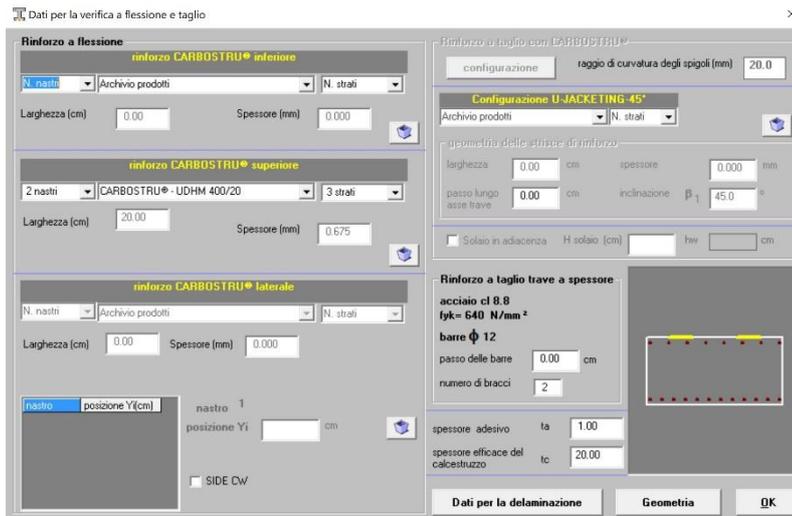


Figura 65 – Calcolo fibre in carbonio CARBOSTRU UDHM 400/20.

Le fibre sono state progettate solo superiormente, al fine di soddisfare la verifica a flessione allo SLU.

Verifica SLU												Verifica SLE	
VERIFICA A FLESSIONE													
S.L.U.													
cond.		M _{sd} (kNm)	M _{id} (kNm)	X _n (m)	ε _{c,max} (%)	ε _{s,min} (%)	ε _{p,min} (%)	ε _{r,min} (%)	della M (%)	materiale giunto a rottura	diagrammi		
M+	sezione iniziale (non rinforzata)	555.24	757.57	0.07	0.350	-2.415	0.000			calcestruzzo	click per visualizzare		
M+	sezione finale (rinforzata)	555.24	757.57	0.07	0.350	-2.415	0.000		0.00	calcestruzzo	click per visualizzare		
M-	sezione iniziale (non rinforzata)	-626.00	-512.15	0.55	0.350	-2.415	0.000			calcestruzzo	click per visualizzare		
M-	sezione finale (rinforzata)	-626.00	-646.23	0.46	0.085	-2.415	0.000	-0.292	26.18	rinforzo sup. per delaminazione sez intermedia	click per visualizzare		

VERIFICA A TAGLIO									
S.L.U.									
cond.	V _{sd} (kN)	V _{Rsd} (kN)	V _{sd,cl} (kN)	V _{Rsd,s} (kN)	V _{Rsd,fp} (kN)	V _{Rsd,b} (kN)	V _{Rsd} (kN)	V _{Rd} (kN)	V _{Rd} (kN)
1-V	365.39	2095.34	307.61	973.62	0.00	0.00	1281.23	1281.23	
2-Vinv	365.39	2095.34	268.72	973.62		0.00	1242.34	1242.34	

Verifica corrente tesso (per le sezioni di estremità)			
V _{max}	365.4	kN	
T _{Asf}	1475.2	kN	T _{Ri} 0.0 kN
T _{tot}	1475.2	kN	

inclinazione delle bielle θ 45.0° cot θ 1.00

Figura 66 – Verifica a flessione e a taglio della Trave 14 post-intervento.

4.11. VERIFICHE SUI PLINTI POST-INTERVENTI

Al fine di valutare cosa succede in fondazione a seguito delle incamiciature, che aumentano notevolmente il peso degli elementi verticali, viene riportata la tabella di verifica dei plinti post-intervento.

c.port [fs]	scorr. [fs]	cedim. [cm]	S.mgr. [daN/cm ²]	S.ter. [daN/cm ²]	R.pli. [fs]	R.mgr. [fs]	Fles. [fs]	Tagl. [fs]	Punz. [fs]	Bicc. [fs]
20 (0.29) ●	4 (0.84) ●	1 (--)	20 (-11.74)	20 (-9.34)	1 (--)	1 (--)	15 (0.80) ●	12 (1.40)	12 (3.38)	1 (--)
4 (0.56) ●	20 (0.97) ●	2 (--)	10 (-9.95)	10 (-7.85)	2 (--)	2 (--)	9 (1.01)	13 (1.58)	13 (3.74)	2 (--)
10 (0.64) ●	10 (1.22)	3 (--)	4 (-7.99)	4 (-6.30)	3 (--)	3 (--)	17 (1.07)	14 (1.70)	14 (4.04)	3 (--)
21 (0.96) ●	16 (1.40)	4 (--)	9 (-6.86)	9 (-5.76)	4 (--)	4 (--)	1 (1.12)	9 (2.49)	11 (54.04)	4 (--)
3 (1.12)	3 (1.51)	5 (--)	2 (-6.77)	2 (-5.68)	5 (--)	5 (--)	2 (1.13)	17 (2.64)	1 (> 100)	5 (--)
2 (1.17)	21 (1.51)	6 (--)	1 (-6.52)	3 (-5.48)	6 (--)	6 (--)	11 (1.16)	1 (2.77)	2 (> 100)	6 (--)
1 (1.21)	19 (1.59)	7 (--)	3 (-6.52)	1 (-5.47)	7 (--)	7 (--)	10 (1.23)	2 (2.79)	3 (> 100)	7 (--)
9 (1.22)	9 (1.67)	8 (--)	17 (-6.48)	17 (-5.40)	8 (--)	8 (--)	3 (1.25)	15 (2.91)	4 (> 100)	8 (--)
16 (1.31)	1 (1.69)	9 (--)	16 (-6.43)	16 (-5.07)	9 (--)	9 (--)	20 (1.37)	3 (2.99)	5 (> 100)	9 (--)
19 (1.51)	2 (1.69)	10 (--)	19 (-5.89)	12 (-4.93)	10 (--)	10 (--)	12 (1.41)	5 (3.51)	6 (> 100)	10 (--)
17 (1.53)	18 (1.88)	11 (--)	21 (-5.70)	21 (-4.86)	11 (--)	11 (--)	5 (1.42)	18 (4.98)	7 (> 100)	11 (--)
12 (1.73)	12 (1.92)	12 (--)	12 (-5.56)	19 (-4.64)	12 (--)	12 (--)	21 (1.44)	11 (5.45)	8 (> 100)	12 (--)
11 (1.80)	13 (2.00)	13 (--)	11 (-5.31)	11 (-4.58)	13 (--)	13 (--)	4 (1.57)	6 (6.05)	9 (> 100)	13 (--)
13 (1.92)	14 (2.06)	14 (--)	13 (-4.97)	13 (-4.40)	14 (--)	14 (--)	13 (1.59)	8 (7.38)	10 (> 100)	14 (--)
5 (2.03)	11 (2.25)	15 (--)	5 (-4.95)	15 (-4.13)	15 (--)	15 (--)	14 (1.71)	21 (13.38)	15 (> 100)	15 (--)
18 (2.04)	17 (2.29)	16 (--)	15 (-4.79)	5 (-4.13)	16 (--)	16 (--)	18 (1.74)	4 (> 100)	16 (> 100)	16 (--)
15 (2.09)	15 (2.95)	17 (--)	14 (-4.64)	14 (-4.11)	17 (--)	17 (--)	16 (1.92)	7 (> 100)	17 (> 100)	17 (--)
14 (2.11)	5 (4.79)	18 (--)	18 (-4.14)	18 (-3.54)	18 (--)	18 (--)	6 (2.03)	10 (> 100)	18 (> 100)	18 (--)
7 (2.64)	7 (4.85)	19 (--)	7 (-3.71)	7 (-2.92)	19 (--)	19 (--)	19 (2.09)	16 (> 100)	19 (> 100)	19 (--)
6 (3.13)	6 (5.22)	20 (--)	6 (-3.33)	6 (-2.83)	20 (--)	20 (--)	8 (2.48)	19 (> 100)	20 (> 100)	20 (--)
8 (3.60)	8 (7.42)	21 (--)	8 (-2.89)	8 (-2.46)	21 (--)	21 (--)	7 (2.95)	20 (> 100)	21 (> 100)	21 (--)

Tabella 69– Verifiche dei plinti di fondazione.

Come si evince dalla tabella, solo pochi plinti non soddisfano le verifiche allo SLU a seguito degli interventi sulla struttura.

Anche per questi plinti può essere pensato un intervento di incamiciatura, come continuità del pilastro sovrastante, mirato a ingrandire le dimensioni di ciascun elemento e armarlo ex-novo.

5. CALCOLO DEL GRADO DI DIFFORMITA' DELLA STRUTTURA

A seguito dei risultati ottenuti, si procede calcolando il Grado di Difformità (GD) che caratterizza la struttura allo stato di fatto, e permette di valutare la vulnerabilità sismica del fabbricato soprattutto nei confronti delle azioni sismiche.

Il Grado di Difformità è un parametro che consente di definire in modo semplificato le carenze dei fabbricati esistenti rispetto ai requisiti minimi richiesti dalle Norme attuali; con questo valore si possono confrontare infatti le caratteristiche dell'edificio esistente con quelle ottenute con la progettazione dello stesso edificio secondo le attuali NTC2018, definendo lo scostamento qualitativo di ciò che si rileva da ciò che dovrebbe essere. [15]

Al fine di calcolare il grado di difformità per il caso studio, viene fatto riferimento agli elementi strutturali pilastri, in quanto, come visto, determinano il comportamento globale della struttura e hanno riportato le problematiche più rilevanti.

Il Grado di Difformità della struttura viene quindi valutato come la differenza tra il quantitativo di armature di ciascun pilastro, calcolato in ottemperanza alle Norme Tecniche in vigore, ed il quantitativo di armatura presente nei pilastri allo stato di fatto.

Per l'i-esimo pilastro del fabbricato è possibile ricavare il grado di difformità dalla formula che segue:

$$"gd_i = [(c_{1i} - c_{2i}) / c_{2i}] \times 100 [\%]"^{49}$$

dove

- gd_i = grado di difformità dell'i-esimo pilastro;
- c_1 massa complessiva delle armature calcolate in accordo con le norme vigenti nell'i-esimo pilastro;
- c_2 massa complessiva delle armature effettivamente presenti nell'i-esimo pilastro. [15]

Nella Tabella seguente sono riportati i valori del grado di difformità di alcuni pilastri della struttura; per il calcolo non sono stati considerati tutti i pilastri, ma solo quelli per cui, considerata la sezione reale, il programma ha riprogettato le armature una volta imposto l'indice di sicurezza $IS-V=100\%$.

⁴⁹ "Valutazione semplificata delle vulnerabilità sismica: gli edifici in c.a. del comune di Ivrea", Igenio, Alessandro P.Fantilli, Bernardino Chiaia, Sean Ollearo

Questo calcolo qualitativo infatti è stato svolto facendo riferimento alla massa di armatura nei pilastri della struttura progettata secondo le prescrizioni vigenti, e la massa di armatura dei pilastri nella struttura allo stato di fatto.

PILASTRO	c ₁	c ₂	(c ₁ -c ₂)/c ₂
	Massa ferri secondo Normativa NTC18 [kg]	Massa ferri stato di fatto [kg]	Grado di difformità elemento [%]
P1	369	210	75.71
P3	321	258	24.42
P4	430	272	58.09
P5	468	260	80.00
P6	230	202	13.86
P7	215	210	2.38
P8	370	265	39.62
P9	325	260	25.00
P15	215	201	6.97
P16	366	215	70.23
P19	497	405	22.72
P24	165	145	13.79
P28	215	210	2.38
P29	202	201	0.50
P30	205	203	0.99
P32	239	223	7.17
P35	146	131	11.45

Tabella 70 – Grado di difformità negli elementi pilastro della struttura.

La media dei GD dei pilastri, ponderata rispetto al quantitativo di armature necessarie, consente di calcolare il grado di difformità GD dell'intera struttura:

$$GD = (\sum g d_i x c_{1i}) / c_{1i}^{50} [\%]$$

Maggiore è il GD e maggiore sarà la vulnerabilità di una struttura, soprattutto rispetto alle azioni sismiche.

Il Grado di Difformità della struttura in esame risulta essere **GD=34 %**.

Grado di Difformità della struttura (GD) [%]
34.1

⁵⁰ “Valutazione semplificata delle vulnerabilità sismica: gli edifici in c.a. del comune di Ivrea”, Igenio, Alessandro P.Fantilli, Bernardino Chiaia, Sean Ollearo

Il Grado di Difformità trovato per la struttura testimonia la necessità di un quantitativo modesto di armatura in più nei pilastri, affinché questi siano conformi alla Norma in vigore; questo valore, sebbene sia contenuto, corrisponde ad un Indice di Sicurezza complessivamente basso per la struttura.

Tutto ciò è giustificabile dal fatto che intervenendo quanto basta sui pilastri, il comportamento globale della struttura diventa conforme alle Norme Tecniche, mentre prima di intervenire su questi elementi la struttura ha una vulnerabilità elevata nei confronti dell'azioni sismiche; la capacità di resistenza del fabbricato è molto minore della domanda di resistenza del sisma. Nel caso oggetto di studio, i pilastri hanno un'influenza elevata sulla sicurezza della struttura a livello globale, ma sono poco difforni dai minimi normativi.

La struttura infatti già nel caso di studio in assenza di azioni sismiche manifesta molte problematiche, a causa dei carichi molto elevati, considerata la destinazione d'uso a parcheggio, le luci notevoli coperte dalle travi e le grandi sezioni di quest'ultime; con l'aggiunta dell'azione sismica, allo SLV, nella struttura si incrementa lo stato di crisi.

Sebbene con gli interventi fatti sia stata aumentata la sezione dei pilastri per permettere l'operazione di rafforzamento delle armature in modo reale, possiamo comunque fare delle correlazioni tra il grado di difformità e quanto ottenuto con le analisi svolte.

Dalle analisi strutturali svolte prima degli interventi, come detto, è stato ricavato che la struttura presenta problematiche soprattutto ai nodi trave-pilastro, in corrispondenza dei due orizzontamenti.

A seguito degli interventi, sia di adeguamento che di miglioramento, le zone più sollecitate dei pilastri vengono rinforzate con un quantitativo contenuto di ferri in più rispetto alla struttura esistente, quel tanto che garantisca il soddisfacimento delle verifiche di resistenza; questo risulta coerente con il GD trovato.

Come visto dopo le verifiche effettuate, le azioni sismiche aumentano di poco le sollecitazioni già molto elevate nei pilastri, in particolare alla testa, zona localizzata più debole.

Dal punto di vista sismico la struttura ha quindi una vulnerabilità elevata perché già nella condizione fondamentale il fabbricato ha molte problematiche.

Le azioni sismiche in sostanza sarebbero ben assorbite dalla struttura se questa fosse ben progettata nei confronti dei carichi verticali.

Il Grado di Difformità (GD) può essere relazionato con il parametro Indice di Sicurezza (IS-V). L'Indice di Sicurezza è definito come il rapporto tra la capacità della struttura in termini di Peak Ground Acceleration PGA_C allo SLV, ovvero l'accelerazione al suolo che determina il raggiungimento dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita della costruzione, e la relativa domanda PGA_D , vale a dire l'accelerazione al suolo del sito in cui è collocata la struttura.

$$IS-V = PGAC / PGAD [\%]$$

Nel caso degli edifici in calcestruzzo armato, un parametro molto rilevante da associare all'Indice di Sicurezza è la percentuale di armatura degli elementi strutturali, che viene calcolata come:

$$\rho = A_{barre} / A_{cls} [\%]$$

dove

- A_{barre} è l'area delle armature longitudinali;
- A_{cls} è l'area del calcestruzzo in una determinata sezione strutturale. [11]

Il Grado di Difformità viene quindi correlato con l'Indice di Sicurezza IS-V, e di conseguenza viene relazionato alle diverse percentuali di armatura, permettendo di fare una stima indicativa su quella che è la percentuale di armatura più idonea per la struttura a seguito degli interventi.

Al variare dell'IS-V per la struttura esistente, a cui corrispondono diverse percentuali di armatura nella struttura, è stato valutato il Grado di Difformità GD rispetto alla struttura progettata ad oggi secondo la Normativa vigente, considerando una $PGAD = 0,1017g$ ottenuta per il Comune di Genova, allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, a cui corrispondono una vita di riferimento V_R di 50 anni, e una probabilità di superamento della vita di riferimento $P_{VR} = 10\%$.

L'IS-V è correlato poi alla Classe di Rischio Sismico, come vedremo nel Capitolo seguente.

$V_R = 50$ anni - Classe d'Uso II - $PGAD = 0,1017$ g		
ρ percentuale di armatura [%]	GD Grado di Difformità [%]	IS-V Indice di Sicurezza [%]
1.50%	-31%	175%
1% (da calcolo sismico)	0%	100%
0.98%	9%	50%
0.94%	11%	25%
0.9% (caso esistente)	34%	0%

Tabella 71 – Correlazione GD-ISV- ρ .

Dalla Tabella precedente si evince che all'aumentare dell'Indice di Sicurezza, aumenta la percentuale di armatura ρ e diminuisce il Grado di Difformità GD tra il costruito e ciò che dovrebbe essere progettato nel rispetto delle Norme Tecniche

vigenti. Si può notare che nella configurazione esistente la struttura ha una percentuale di armatura poco inferiore al minimo stabilito dalla Normativa per i pilastri, secondo cui $1\% < \rho < 4\%$.⁵¹ Questo valore è in linea con il Grado di Difformità contenuto del 34%. L'aumento della percentuale di armatura con $0,9\% < \rho < 1\%$ corrisponde ad un Indice di Sicurezza $0\% < IS-V < 100\%$, e quindi ai possibili interventi di miglioramento sulla struttura. L'Indice di Sicurezza infatti è riconducibile a quel valore ζ_E che distingue i diversi tipi di intervento. Qualora sia $\zeta_E < 1$ si trattano interventi di miglioramento sismico, e la percentuale di armatura non rispetta i minimi normativi definiti al Capitolo 7 delle NTC2018. Nel momento in cui viene ipotizzata una percentuale di armatura secondo gli standard minimi definiti dalla Normativa, l'Indice di Sicurezza sarà del 100%. Solitamente si è soliti progettare ex-novo strutture che arrivano intorno al 2,5% di percentuale di armatura. In Tabella è riportato anche il caso in cui fossero progettati interventi che superano la percentuale minima dell'1%, con una percentuale comunque ragionevole per la struttura quale l'1,5%. In questo caso il Grado di Difformità è negativo.

Queste variazioni vengono rappresentate graficamente come segue.

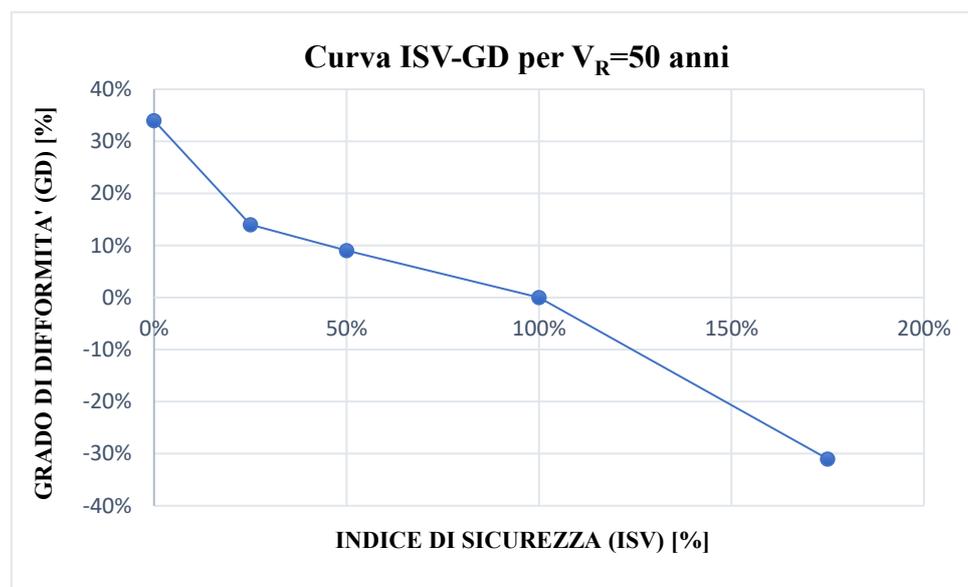


Figura 67 – Grafico di correlazione GD–ISV della struttura oggetto di studio.

Il valore del Grado di Difformità è funzione della *Peak Ground Acceleration* del sito considerato, che si modifica variando il tempo di ritorno T_R , usualmente riferito a 50 anni. Il GD essendo connesso all'IS–V è quindi riconducibile alla definizione della Classe di Rischio Sismico, come vedremo nel prossimo Capitolo.

Nel caso in esame si rileva una differenza contenuta del costruito rispetto a ciò che le Norme Tecniche vigenti richiederebbero.

⁵¹ Capitolo 7, Paragrafo 7.4.6.2.2, *Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19 gennaio 2018*

La città di Genova è rientrata in zona sismica solo in seguito alla classificazione sismica del 2003, quindi nella progettazione della costruzione in esame erano state trascurate le azioni orizzontali; nonostante questo la struttura subisce un incremento di sollecitazioni piuttosto moderato con la presenza di azioni sismiche.

A seguito dei calcoli svolti, possiamo considerare che sia più ragionevole intervenire sulla costruzione esistente con interventi di adeguamento sismico, poiché in questo caso la struttura viene progettata nel rispetto delle NTC2018, con una percentuale di armatura che è poco maggiore rispetto agli interventi di miglioramento sismico.

Nel momento in cui vengono eseguiti le opere di consolidamento sulla struttura ha senso adeguarla e portarla ad un Indice di Sicurezza pari al 100%.

Nel Capitolo seguente viene valutato l'incremento del livello di Classe di Rischio Sismico al fine di adeguare sismicamente la costruzione.

6. APPLICAZIONE DEL SISMA BONUS AL CASO DI STUDIO

Per valutare la Classe di Rischio Sismico viene utilizzato il metodo convenzionale, l'unico ammissibile per opere in calcestruzzo armato.

Nella definizione della Classe è obbligatorio valutare il comportamento globale della costruzione; nel presente caso di studio è stato scelto di svolgere un intervento di adeguamento per l'intera struttura, ed è stato quindi valutato il comportamento globale prima e dopo gli interventi svolti.

Secondo il metodo convenzionale, per definire la Classe di Rischio Sismico dell'edificio prima e dopo gli interventi di adeguamento, devono essere calcolati due parametri, descritti al Capitolo 3: l'Indice di Sicurezza IS-V (IS-V) e la Perdita Annuale Media attesa (PAM).

La definizione di ciascun parametro per la struttura permette di individuare la Classe di Rischio Sismico relativa; ai vari valori assunti da ciascun parametro è infatti associata una classe. La Classe di Rischio Sismico assunta per la struttura risulta essere la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.

Nel seguito vengono calcolati i parametri IS-V e PAM per la struttura allo stato di fatto, per la struttura adeguata sismicamente e per la struttura migliorata sismicamente. [10]

6.1. CALCOLO DELL'INDICE DI SICUREZZA IS-V

L'Indice di Sicurezza per la Vita IS-V, come già visto, è definito come il rapporto tra la capacità in termini di Peak Ground Acceleration PGA_C considerato allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, e la relativa domanda PGA_D .

$$IS-V = PGA_C / PGA_D [\%]$$

Con Dolmen è possibile determinare tale rapporto direttamente dalla sezione "Scheda Casi di Carico", sapendo che è espresso come il valore da attribuire alla Vulnerabilità SLU affinché gli elementi della struttura soddisfino le verifiche per i casi di carico agli SLV considerati. [10]

Nei paragrafi seguenti viene calcolato l'Indice di Sicurezza per la costruzione allo stato di fatto, e per la costruzione dopo gli interventi di miglioramento e adeguamento sismico.

6.1.1. INDICE DI SICUREZZA IS-V DELLA STRUTTURA ESISTENTE

A seguito di alcune iterazioni, è stato valutato che allo stato di fatto gli elementi della costruzione soddisfano le verifiche di resistenza allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, qualora il rapporto $IS-V=PGA_C/PGA_D=0,05$, quindi per un Indice di Sicurezza $IS-V=5\%$.

R	Nome	Descrizione	Tipo Ver	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/>	1	SLU SENZA SISMA	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	2	SISMAX SLU	Altro	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	3	SISMAY SLU	Altro	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	4	SLU con SISMAX PRINC	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	5	SLU con SISMAY PRINC	SLU	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	6	SLD con SISMAX PRINC	SLD	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	7	SLD con SISMAY PRINC	SLD	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	8	SLU FON con SISMAX P	SLU Fondaz.	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	9	SLU FON con SISMAY P	SLU Fondaz.	Somma caratteristiche
<input checked="" type="checkbox"/>	10	Rara	Rara	Somma caratteristiche

Figura 68 – Vulnerabilità sismica della struttura esistente.

Nello specifico è possibile ottenere i parametri di domanda sismica e i parametri di capacità della struttura relativi alla vulnerabilità considerata, nella sezione “Edifici Esistenti” in “Analisi Dinamica” del Programma, considerata la Vita Nominale di 50 anni. Noto $IS-V=5\%$ per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, è possibile ricavare l' $IS-V$ per lo Stato Limite di Danno imponendo la Vita Nominale allo SLV uguale al periodo di ritorno allo SLV, $VN_{SLD}=T_{RSLV}=4$ anni, da cui si ricava il rapporto delle accelerazioni per lo SLD pari a $\zeta_E=0,105$. I rapporti fra accelerazioni per lo SLC e lo SLO si ricavano rispettivamente dallo SLV e dallo SLD come nell'immagine che segue.

PARAMETRI PER EDIFICI ESISTENTI

genova
 44.419264 8.8975 GENOVA
 44.4333 8.7667 Genova-Voltri
 44.4333 8.7667 Stazione Genova Voltri

LATITUDINE **44.4193**
 LONGITUDINE **8.898**

suolo **C** Cu **1.0** St **1.000** Esponente "a" **0.356**

DOMANDA SISMICA				CAPACITA' DELLA STRUTTURA			VULNERABILITA'	
	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	Rapporto fra accelerazioni	Rapporto fra periodi ^a
SLC DLC	50	0.1304	975	CLC	0.4	0.009	0.072	0.181
SLV DLV	50	0.1017	475	CLV	0.4	0.0044	0.05	0.183
SLD DLD	50	0.0445	50	CLD	4	0.0046	0.105	0.407
SLO DLO	50	0.0346	30	CLO	4	0.0028	0.08	0.381

AGGIORNA STAMPA HELP COPIA SALVA

Figura 69 – Parametri di domanda di capacità della struttura, IS–V=0,05.

Il periodo di ritorno relativo alla capacità della struttura T_{RC} è ricavabile in modo analogo dalla formula seguente:

$$T_{RC} = T_{RD} (PGA_C / PGA_D)^\eta$$

Dove $\eta = 1/0,41$ rappresenta una media dell'intero territorio nazionale. [10]

Valutato che il rapporto $PGA_C / PGA_D = 0,05 = 5\%$, si ricava che secondo l'IS–V la **Classe di Rischio** è la **F**.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 100\%$	A_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 80\%$	B_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 60\%$	C_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 45\%$	D_{IS-V}
$15\% \leq IS-V < 30\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

Tabella 72 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS–V.

Poiché assumendo un $IS-V = 5\%$ si ottiene una vita nominale minore di un anno, e quindi inferiore ai minimi accettabili, si ripete il calcolo con $IS-V = 15\%$.

Noto $IS-V = 15\%$ per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, è possibile ricavare l'IS–V per lo Stato Limite di Danno imponendo la Vita Nominale allo SLV uguale al periodo di ritorno allo SLV, $VN_{SLD} = T_{RSLV} = 12$ anni, da cui si ricava il rapporto delle accelerazioni per lo SLD pari a $\zeta_E = 0,315$. I rapporti fra accelerazioni per lo SLC e lo SLO si ricavano rispettivamente dallo SLV e dallo SLD come nell'immagine che segue.

PARAMETRI PER EDIFICI ESISTENTI

genova
 44,419264 8.8975 GENOVA
 44,4333 8.7667 Genova-Voltri
 44,4333 8.7667 Stazione Genova Voltri

LATITUDINE 44.4193
 LONGITUDINE 8.898

suolo C Cu 1.0 St 1.000 Esponente "a" 0.356

DOMANDA SISMICA			CAPACITA' DELLA STRUTTURA			VULNERABILITA'				
	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	Rapporto fra accelerazioni	Rapporto fra periodi ^a		
SLC	DLC	50	0.1304	975	CLC	1.3	0.0282	24	0.216	0.267
SLV	DLV	50	0.1017	475	CLV	1.3	0.0142	12	0.15	0.27
SLD	DLD	50	0.0445	50	CLD	12	0.0139	12	0.315	0.602
SLO	DLO	50	0.0346	30	CLO	11.9	0.0083	7	0.24	0.596

AGGIORNA STAMPA HELP COPIA SALVA

Figura 70 – Parametri di domanda e capacità della struttura, per IS–V=0,15.

Il periodo di ritorno relativo alla capacità della struttura T_{RC} è ricavabile in modo analogo dalla formula seguente:

$$T_{RC}=T_{RD}(PGA_C/PGA_D)^{\eta}$$

Dove $\eta=1/0,41$ rappresenta una media dell'intero territorio nazionale.

Valutato che il rapporto $PGA_C/PGA_D=0,15=15\%$, si ricava che secondo l'IS–V la **Classe di Rischio** è la **F**.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A ⁺ _{IS-V}
80% ≤ IS-V < 100%	A _{IS-V}
60% ≤ IS-V < 80%	B _{IS-V}
45% ≤ IS-V < 60%	C _{IS-V}
30% ≤ IS-V < 45%	D _{IS-V}
15% ≤ IS-V < 30%	E _{IS-V}
IS-V ≤ 15%	F _{IS-V}

Tabella 73 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS–V.

Anche per il calcolo della PAM verrà fatto riferimento ad una $PGA_{SLV}=15\%$.

6.1.2. INDICE DI SICUREZZA IS-V DELLA STRUTTURA ADEGUATA SISMICAMENTE

Gli interventi di adeguamento effettuati sulla struttura, sono stati svolti secondo le NTC2018 utilizzando il Programma di Calcolo Strutturale CDM Dolmen, con l'obiettivo di progettare una nuova struttura portante in c.a., simile a quella esistente, ma che rispetti gli standard di sicurezza previsti dalle attuali Norme Tecniche.

A tal fine gli interventi sono stati progettati secondo gli standard attuali, perciò l'Indice di Sicurezza $IS-V = PGA_C / PGA_D = 1$, ovvero **IS-V=100%**.

Il fabbricato così progettato appartiene alle **Classe di Rischio A⁺**.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A⁺_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 100\%$	A _{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 80\%$	B _{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 60\%$	C _{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 45\%$	D _{IS-V}
$15\% \leq IS-V < 30\%$	E _{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F _{IS-V}

Tabella 74 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS-V.

In questo caso i parametri relativi alla domanda sismica e alla capacità della struttura coincidono.

PARAMETRI PER EDIFICI ESISTENTI

genova
 44.419264 8.8975 GENOVA
 44.4333 8.7667 Genova-Voltri
 44.4333 8.7667 Stazione Genova Voltri

LATITUDINE **44.4193**
 LONGITUDINE **8.898**

suolo **C** Cu **1.0** St **1.000** Esponente "a" **0.356**

DOMANDA SISMICA				CAPACITA' DELLA STRUTTURA				VULNERABILITA'		
		VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)		VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	Rapporto fra accelerazioni	Rapporto fra periodi ^a
SLC	DLC	50	0.1304	975	CLC	50	0.1304	975	1	1
SLV	DLV	50	0.1017	475	CLV	50	0.1017	475	1	1
SLD	DLD	50	0.0445	50	CLD	50	0.0445	50	1	1
SLO	DLO	50	0.0346	30	CLO	50	0.0346	30	1	1

AGGIORNA STAMPA HELP COPIA SALVA

Figura 71 – Parametri di domanda e capacità della struttura, per IS-V=1.

6.1.3. INDICE DI SICUREZZA IS-V DELLA STRUTTURA MIGLIORATA SISMICAMENTE

Gli interventi di miglioramento sulla struttura sono stati svolti assumendo $\zeta_E = 0,4$, vale a dire incrementando lo $\zeta_E = 0,15$ della struttura esistente di almeno il 0,1, essendo la Classe d'Uso della struttura II.⁵²

L'Indice di Sicurezza, espresso dal rapporto $IS-V = PGA_C / PGA_D$, è stato quindi assunto del 40%, **IS-V=40%**.

Il fabbricato così progettato appartiene alle **Classe di Rischio D**.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A_{IS-V}^+
$80\% \leq IS-V < 100\%$	A_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 80\%$	B_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 60\%$	C_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 45\%$	D_{IS-V}
$15\% \leq IS-V < 30\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

Tabella 75 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo IS-V.

In questo caso i parametri relativi alla domanda sismica e alla capacità della struttura sono evidenziati nell'immagine che segue.

PARAMETRI PER EDIFICI ESISTENTI

genova
 44.419264 8.8975 GENOVA
 44.4333 8.7667 Genova-Voltri
 44.4333 8.7667 Stazione Genova Voltri

LATITUDINE **44.4193**
 LONGITUDINE **8.898**

suolo **C** Cu **1.0** St **1.000** Esponente "a" **0.356**

DOMANDA SISMICA				CAPACITA' DELLA STRUTTURA			VULNERABILITA'	
	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	Rapporto fra accelerazioni	Rapporto fra periodi ^a
SLC DLC	50	0.1304	975	CLC	4.4	0.0544	0.417	0.421
SLV DLV	50	0.1017	475	CLV	4.4	0.0406	0.4	0.422
SLD DLD	50	0.0445	50	CLD	42.1	0.0409	0.92	0.94
SLO DLO	50	0.0346	30	CLO	41.8	0.0289	0.835	0.937

AGGIORNA STAMPA HELP COPIA SALVA

Figura 72 – Parametri domanda e di capacità della struttura, IS-V=0,4.

⁵² Capitolo 8, Paragrafo C8.4.2, Circolare Ministeriale n.7 C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019

6.2. CALCOLO DELLA PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA (PAM)

La Perdita Annuale Media attesa (PAM) è il parametro che considera le perdite economiche associate ai danni strutturali e non, che possono subire gli elementi della struttura. Questo valore può essere inteso come il costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifestano nel corso della vita della costruzione, distribuito annualmente, ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione. [10] La PAM viene calcolata come l'area sottesa alla curva che rappresenta le perdite economiche nel corso della vita della struttura.

La curva si ricava considerando sulle ascisse la frequenza media annua di superamento degli eventi sismici che provocano il raggiungimento di uno Stato Limite per la struttura, valutata come l'inverso del periodo di ritorno, e sulle ordinate le relative perdite economiche, riportate come percentuale del costo di ricostruzione. Dopo aver effettuato le analisi sismiche della struttura secondo le NTC 2018, si determinano i valori di capacità PG_{AC} per ogni Stato Limite considerato.

Note le accelerazioni al suolo per gli Stati Limite considerati, si individuano i relativi periodi di ritorno $T_{RC} = T_{RD} \cdot (PG_{AC}/PG_{AD})^\eta$ con $\eta=1/0,41$, assunto come media sul territorio nazionale.

Per ciascuno dei periodi individuati si determina il valore della frequenza media annua di superamento $\lambda = 1/T_{RC}$.

Per gli Stati limite al Collasso e di Operatività il valore della frequenza media annua di superamento è ottenuto rispettivamente dalle frequenze dello Stato Limite di Danno e dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita come segue:

$$\lambda_{SLO} = 1,67 \cdot \lambda_{SLD}$$

$$\lambda_{SLC} = 0,49 \cdot \lambda_{SLV}$$

Lo Stato Limite di Inizio Danno (SLID), è definito come lo Stato Limite a cui è associabile una perdita economica pari a zero, in corrispondenza di un evento sismico; in una costruzione esistente post-interventi sismici, allo SLID il periodo di ritorno è assunto a 10 anni, ossia $\lambda=0,1$; per una costruzione esistente allo stato di fatto si assume che la probabilità di superamento $P_{VR}=99,4\%$, a cui corrisponde una frequenza di circa tre volte quella dello Stato Limite di Operatività. [10]

Allo Stato limite di Ricostruzione (SLR) viene associata una perdita economica pari al 100%, considerando che lo stato critico della costruzione è tale per cui sarebbe necessario operare con demolizione e ricostruzione della stessa.

Per convenzione si assume che tale limite si manifesti in corrispondenza di un evento sismico il cui periodo di ritorno è pari a quello dello Stato Limite di Collasso (SLC),

Per ciascuno degli Stati Limite considerati si associa al corrispondente valore di λ il valore della percentuale di Costo di Ricostruzione CR come riportato nella tabella che segue, estratta dalle Linee Guida:

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

Figura 73 – Costo di Ricostruzione relativo agli Stati Limite.

6.2.1. PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA DELLA STRUTTURA ESISTENTE

Come visto per l'Indice di Sicurezza, è possibile ricavare i parametri necessari per il calcolo della PAM con l'ausilio del Programma Dolmen.

PARAMETRI PER EDIFICI ESISTENTI

genova
 44.419264 8.8975 GENOVA
 44.4333 8.7667 Genova-Voltri
 44.4333 8.7667 Stazione Genova Voltri

LATTITUDINE 44.4193
 LONGITUDINE 8.898

suolo C Cu 1.0 St 1.000
 Esponente "a" 0.356

DOMANDA SISMICA				CAPACITA' DELLA STRUTTURA				VULNERABILITA'		
	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	VN (anni)	PGA (g)	TR (anni)	Rapporto fra accelerazioni	Rapporto fra periodi λ^a		
SLC	DLC	50	0.1304	975	CLC	1.3	0.0282	24	0.216	0.267
SLV	DLV	50	0.1017	475	CLV	1.3	0.0142	12	0.15	0.27
SLD	DLD	50	0.0445	50	CLD	12	0.0139	12	0.315	0.602
SLO	DLO	50	0.0346	30	CLO	11.9	0.0083	7	0.24	0.596

AGGIORNA STAMPA HELP COPIA SALVA

Figura 74 – Parametri di domanda e capacità della struttura, IS-V=15%.

Considerato lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita per cui $\zeta_{E\ SLV}=0,15$, si ottengono i valori riportati nella tabella seguente.

SLV	
PGA_D [g]	0.1017
PGA_C [g]	0.0142
T_{RD}	475
T_{RC}	12
$\lambda_{SLV}=1/T_{RC}$	0.08

Tabella 76 – Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Per lo Stato Limite di Collasso si ha che $\lambda_{SLC} = 0,49 \cdot \lambda_{SLV}$ da cui:

SLC	
$\lambda_{SLC}=0.49\lambda_{SLV}$	0.0408
$T_{RC}=1/\lambda_{SLO}$	24

Tabella 77 – Stato Limite di Collasso

Allo Stato Limite di Danno, non avendo fatto specifiche analisi, si considera che la vita nominale $V_{NSLD} = T_{RSLV}$; se $C_u=1$, allora $T_{RSLD} = V_{NSLD}=12$ anni, quindi $\lambda_{SLD} = 1/12 = 0,08$.

SLD	
PGA_D [g]	0.0445
PGA_C [g]	0.3150
T_{RD}	50
T_{RC}	12
$\lambda_{SLD}=1/T_{RC}$	0.08

Tabella 78 – Stato Limite di Danno

Per lo Stato Limite di Operatività si ha che $\lambda_{SLO} = 1.67 \cdot \lambda_{SLD} = 0,1392$, cioè $T_{R_{SLO}} = 7$ anni.

SLO	
$\lambda_{SLO}=1.67\lambda_{SLD}$	0.1392
$T_{RC}=1/\lambda_{SLO}$	7

Tabella 79 – Stato Limite di Operatività

Per quanto riguarda lo SLID va tenuto presente che corrisponde ad una probabilità di superamento $P_{VR}=99,4\%$; dalla formula:

$$T_R = - V_R / \ln (1- P V_R) = - C_U V_N / \ln (1- P V_R)^{53}$$

È possibile ricavare il rapporto tra i periodi di ritorno allo Stato Limite di Operatività e allo Stato Limite di Inizio Danno:

$$T_{RSLO} / T_{RSLID} = \ln (1-0,994) / \ln (1-0,81) = 5.116/1.66=3.08 \text{ anni}$$

quindi è ragionevole assumere $\lambda_{SLID} = 3 \cdot \lambda_{SLO} = 3 \cdot 0,1392 = 0,42$.

SLID	
λ_{SLID}	0.42

Tabella 80 – Stato Limite Inizio Danno

Per ogni Stato Limite è stato così possibile ottenere la frequenza media annua di superamento, che messa in relazione al corrispondente costo di ricostruzione ha permesso di costruire la curva delle perdite economiche per la struttura prima dell'intervento.

STATI LIMITE	CR[%]	λ [-]	λ [%]
SLR	100%	0.04	4%
SLC	80%	0.04	4%
SLV	50%	0.08	8%
SLD	15%	0.08	8%
SLO	7%	0.14	14%
SLID	0%	0.42	42%

Tabella 81 – Costo di ricostruzione CR e frequenza media annua di superamento λ .

Dalla tabella precedente viene ricavata la Curva relativa alle perdite economiche, la cui area sottesa indica il valore del parametro PAM per la costruzione allo stato di fatto.

⁵³ Capitolo 3, Paragrafo 3.2.1., Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 19.01.2018.

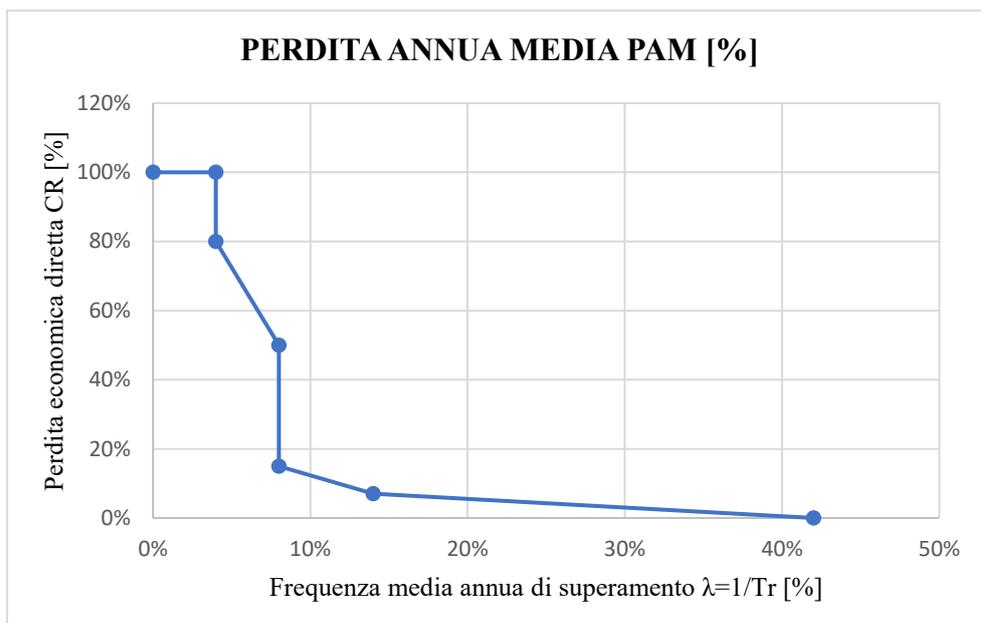


Figura 75 – Curva delle perdite economiche e calcolo PAM.

Dal calcolo dell'area sottesa alla curva in figura, effettuato con la formula seguente:

$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] \cdot [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SL_C) \cdot CR(SL_R)$$

si ottiene che la Perdita Media Annuata attesa **PAM=6%**.

La struttura secondo questa stima cade quindi in **Classe F**.

Perdita Media Annuata attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Figura 76 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo la PAM.

6.2.2. PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA PAM DELLA STRUTTURA ADEGUATA

Nel momento in cui è stato progettato l'adeguamento sismico per la struttura, è stato considerato che il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che sarebbe utilizzata nel progetto di una nuova costruzione, ζ_E , fosse pari a 1. In definitiva è stato considerato un Indice di Sicurezza 100%, a cui sono corrisposti i relativi parametri per il calcolo della PAM.

Per lo Stato Limite di Salvaguardia della vita si ottiene una PGA corrispondente pari a 0,10174g, ed un periodo di ritorno T_{RSLV} di 475 anni, quindi $\lambda_{SLV} = 1/475 = 0,0021$.

SLV	
PGA_D [g]	0.1017
PGA_C [g]	0.1017
T_{RD}	475
T_{RC}	475
$\lambda_{SLV}=1/T_{RC}$	0.0021

Tabella 82 – Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Per lo Stato Limite di Collasso si ha che $\lambda_{SLC} = 0,49 \lambda_{SLV} = 0,0010$, cioè $T_{RSLC} = 975$ anni.

SLC	
$\lambda_{SLC}=0.49\lambda_{SLV}$	0.0010
$T_{RC}=1/\lambda_{SLO}$	975

Tabella 83 – Stato Limite di Collasso

Allo Stato Limite di Danno si ha:

SLD	
PGA_D [g/10]	0.0445
PGA_C [g/10]	0.0445
T_{RD}	50
T_{RC}	50
$\lambda_{SLD}=1/T_{RC}$	0.02

Tabella 84– Stato Limite di Danno

Per lo Stato Limite di Operatività si ha che $\lambda_{SLO} = 1.67 \cdot \lambda_{SLD} = 0,0334$.

SLO	
$\lambda_{SLO} = 1.67 \lambda_{SLD}$	0.0334
$T_{RC} = 1/\lambda_{SLO}$	30

Tabella 85 – Stato Limite di Operatività.

La frequenza corrispondente allo SLID per una struttura adeguata questo viene assunta pari al 10%, assumendo quindi un periodo di ritorno di 10 anni.

Ricavata la frequenza media annua di superamento per ogni Stato Limite, questa viene messa in relazione al corrispondente costo di ricostruzione, permettendo di costruire la curva delle perdite economiche per la struttura prima dell'intervento.

STATILIMITE	CR[%]	λ	λ [%]
SLR	100%	0.0010	0.10%
SLC	80%	0.0010	0.10%
SLV	50%	0.0021	0.21%
SLD	15%	0.02	2%
SLO	7%	0.0334	3.34%
SLID	0%	0.10	10%

Tabella 86 – Costo di ricostruzione CR e frequenza media annua di superamento λ .

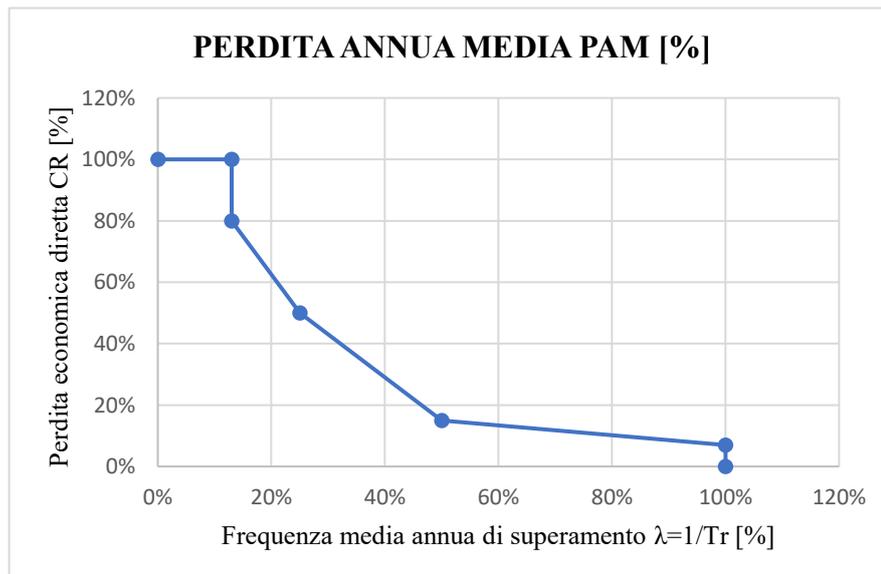


Figura 77 – Curva delle perdite economiche e calcolo PAM.

Dal calcolo effettuato con la relativa formula, ricavata dalle Linee Guida [10]:

$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SL_C) * CR(SL_R)$$

si ottiene la Perdita Media Annuale attesa, **PAM=1%**.

La struttura secondo questa stima cade quindi in **Classe B**.

Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Figura 78 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo PAM.

6.2.3. PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA PAM DELLA STRUTTURA MIGLIORATA

Nel momento in cui è stato progettato il miglioramento sismico per la struttura, è stato considerato $\zeta_E = 0,4$. In definitiva è stato considerato un Indice di Sicurezza del 40%, a cui sono corrisposti i relativi parametri per il calcolo della PAM.

Per lo Stato Limite di Salvaguardia della vita si ottiene una PGA corrispondente pari a 0,10174g, ed un periodo di ritorno T_{RSLV} di 475 anni, quindi $\lambda_{SLV} = 1/475 = 0,0021$.

SLV	
PGA_D [g]	0.1017
PGA_C [g]	0.0406
T_{RD}	475
T_{RC}	42
$\lambda_{SLV} = 1/T_{RC}$	0.0238

Tabella 87 – Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

Per lo Stato Limite di Collasso si ha che $\lambda_{SLC} = 0,49$ $\lambda_{SLV} = 0,0117$, cioè $T_{RSLC} = 86$ anni.

SLC	
$\lambda_{SLC}=0,49\lambda_{SLV}$	0.0117
$T_{RC}=1/\lambda_{SLO}$	86

Tabella 88 – Stato Limite di Collasso

Allo Stato Limite di Danno si ha:

SLD	
PGA_D [g/10]	0.0445
PGA_C [g/10]	0.0409
T_{RD}	50
T_{RC}	42
$\lambda_{SLD}=1/T_{RC}$	0.0238

Tabella 89– Stato Limite di Danno

Per lo Stato Limite di Operatività si ha che $\lambda_{SLO} = 1,67 \cdot \lambda_{SLD} = 0,0398$.

SLO	
$\lambda_{SLO}=1,67\lambda_{SLD}$	0.0398
$T_{RC}=1/\lambda_{SLO}$	25

Tabella 90 – Stato Limite di Operatività.

La frequenza corrispondente allo SLID per una struttura adeguata questo viene assunta pari al 10%, assumendo quindi un periodo di ritorno di 10 anni.

Ricavata la frequenza media annua di superamento per ogni Stato Limite, questa viene messa in relazione al corrispondente costo di ricostruzione, permettendo di costruire la curva delle perdite economiche per la struttura prima dell'intervento.

STATI LIMITE	CR[%]	λ	λ [%]
SLR	100%	0.0117	1.17%
SLC	80%	0.0117	1.17%
SLV	50%	0.0238	2.38%
SLD	15%	0.0238	2.38%
SLO	7%	0.0398	3.98%
SLID	0%	0.10	12%

Tabella 91 – Costo di ricostruzione CR e frequenza media annua di superamento λ .

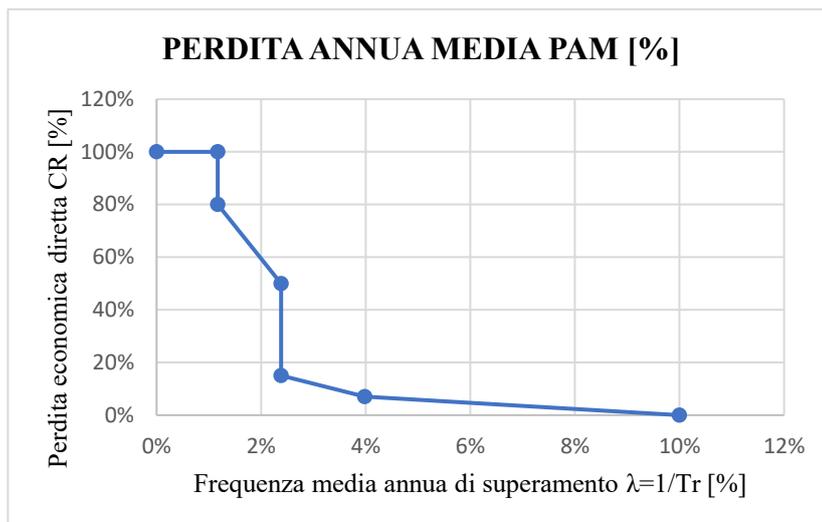


Figura 79 –Curva delle perdite economiche e calcolo PAM.

Dal calcolo effettuato con la relativa formula

$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SL_C) * CR(SLR)$$

si ottiene la Perdita Media Annua attesa, **PAM=1,6 %**.

La struttura secondo questa stima cade quindi in **Classe C**.

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Figura 80 – Attribuzione della Classe di Rischio secondo PAM.

6.3. ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI RISCHIO SISMICO E DETRAZIONI FISCALI DEL SISMA BONUS

A seguito del calcolo dei due parametri, IS-V e PAM, prima e dopo l'adeguamento sismico effettuato sulla struttura, si determina la Classe di Rischio Sismico della costruzione considerando la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.

Nel caso dell'adeguamento sismico, a seguito degli interventi svolti consideriamo il valore della PAM, poiché nella struttura post-adeguamento risulta più sfavorevole; la struttura dopo l'adeguamento rientra in Classe B.

Prima dell'intervento sia la PAM che l'IS-V hanno classificato la struttura come appartenente a Classe F.

CLASSE DI RISCHIO SISMICO	
PRE-INTERVENTO	CLASSE F
POST-ADEGUAMENTO	CLASSE B

A seguito dell'intervento di adeguamento effettuato la struttura è migliorata di 4 classi, poiché l'intervento è stato progettato secondo le Normative vigenti, considerando il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche, pari a 1.

La struttura aumenta di più di due Classi di Rischio, ed essendo catalogabile come edificio produttivo, in quanto di proprietà dell'Industria Farmaceutica Bruschettoni S.r.l., è prevista una detrazione per la prevenzione sismica dell'80% per un ammontare non superiore a 96000€.

Nel caso del miglioramento sismico con $\zeta_E=0,4$, dopo gli interventi consideriamo il valore dell'IS-V, secondo cui la struttura cade in Classe D.

Analogamente la struttura esistente appartiene alla Classe B.

CLASSE DI RISCHIO SISMICO	
PRE-INTERVENTO	CLASSE F
POST-MIGLIORAMENTO	CLASSE D

A seguito dell'intervento di miglioramento effettuato la struttura è migliorata di 2 classi, quel tanto che permette all'edificio, di godere di incentivi fiscali per la prevenzione sismica dell'80%, per un ammontare non superiore a 96000€.

Il Sisma Bonus sia con gli interventi di miglioramento che con gli interventi di adeguamento ha permesso di beneficiare del massimo possibile di percentuale di detrazioni fiscali, relativamente alla destinazione d'uso della struttura.

CONCLUSIONI

L'obiettivo principale della Tesi è stato quello di valutare la percentuale di detrazioni fiscali corrisposte dal Sisma Bonus, a seguito della progettazione degli interventi di prevenzione sismica sulla struttura.

A tal fine, nel corso dello studio condotto, c'è stata la necessità di raggiungere un livello di conoscenza adeguato della struttura, per rappresentarne nel modo più reale possibile il comportamento mediante la modellazione, e valutarne la sicurezza. La corretta modellazione e la valutazione globale della struttura allo stato di fatto sono state condizione necessaria per studiare la modalità di intervento più consona.

Nel corso dello studio sono state poi fatte delle scelte legate alla conformazione del fabbricato; per esempio, valutata la crisi localizzata in più punti di ogni pilastrata, è stato scelto di intervenire su tutta la lunghezza con delle incamiciature, per omogeneizzare gli interventi nella struttura e non alterare i centri di massa e i baricentri delle rigidità di ogni piano.

Inizialmente, tra le varie possibilità, è stato ipotizzato l'inserimento di muri di taglio perimetrali, in quanto la struttura non presenta tamponature e questi avrebbero contribuito all'irrigidimento dell'organismo strutturale; il problema è sorto analizzando la tipologia di fondazioni, ovvero i plinti. La conformazione delle fondazioni ha infatti portato a scegliere le incamiciature come interventi, in quanto non comportano l'obbligo di riprogettare le fondazioni come nel caso dei muri. Svolgendo le opportune verifiche per i plinti prima e dopo gli interventi si è infatti stabilito che solo pochi plinti necessitano di essere rafforzati con una incamiciatura, un intervento sostenibile se confrontato all'ipotesi di progettare fondazioni ex-novo per i muri, con la conseguente problematica dei muri di sostegno che confinano le strade adiacenti alla struttura, limitando le modalità di intervento.

Le varie valutazioni sono state una scelta progettuale che potrebbe vedere in alternativa l'applicazione di fasciature nei punti non verificati dei pilastri, e confrontare i costi derivanti da questo intervento con i costi sostenuti per le incamiciature.

La stessa modalità di intervento scelta è stata analizzata sia come miglioramento che come adeguamento sismico, per valutare la più adatta al caso studio; quello che si è differenziato è la quantità di armatura nelle incamiciature.

Lo studio qualitativo svolto con il calcolo del Grado di Difformità, sebbene sia stato basato sulla struttura con le sezioni originali, ha permesso di trarre delle considerazioni per i due tipi di intervento scelti sulla struttura esistente.

Questo parametro associato alla variazione dell'Indice di Sicurezza ha infatti portato a valutare la variazione di percentuale di armatura tra lo stato esistente e lo stato

adeguato, ovvero tra un Indice di Sicurezza compreso tra lo 0% e il 100%; nello studio qualitativo condotto la struttura allo stato di fatto ha lo 0,9% di armatura, mentre la struttura progettata secondo gli standard vigenti ha una percentuale dell'1%.

In analogia è stato possibile dedurre che la variazione della percentuale di armatura tra struttura migliorata e struttura adeguata è modesta.

Le analisi ottenute e le conseguenti considerazioni derivano dal fatto che è stato applicato un fattore di struttura $q=1,5$, che indica un comportamento non dissipativo della struttura; i pilastri hanno un comportamento fragile e la Gerarchia delle Resistenze, ovvero il comportamento “pilastro forte–trave debole” non è rispettata.

Le travi sono ben armate, poche necessitano dell'applicazione delle fasce in fibre di carbonio che sono state progettate per le sezioni più sollecitate.

Alla stregua di quanto delineato nelle “Linee Guida per la classificazione del Rischio Sismico delle costruzioni”, a seguito delle analisi sulla costruzione esistente e delle relative analisi e progettazione degli interventi, sono stati calcolati i parametri atti a classificare sismicamente la struttura.

Definita la classificazione sismica secondo l'Indice di Sicurezza e quella secondo la Perdita Annuale Media attesa per la costruzione nelle tre conformazioni, esistente, adeguata e migliorata, stata considerata la peggiore per ognuna è tra la Classe IS–V e la Classe PAM al fine di definire la Classe di Rischio Sismico.

Sia con interventi di miglioramento che con gli interventi di adeguamento la struttura acquisisce i due livelli minimi necessari per conseguire l'80% delle detrazioni fiscali, per un massimo di 96.000 euro.

Dalla Classe F l'edificio passa alla Classe D con il miglioramento, mentre dalla Classe F la struttura passa alla Classe B con l'adeguamento.

Questo calcolo finale attesta quanto la definizione degli interventi più idonei sia dipendente dai costi; valutando che la modalità di intervento è la stessa, e che ciò che cambia è la piccola quantità di armatura in più nell'adeguamento rispetto al miglioramento, potremmo stimare che l'adeguamento sismico risulta più consono per la struttura oggetto di studio, anche se è necessaria un'analisi più dettagliata per la valutazione dei costi che intercorrono tra miglioramento e adeguamento sismico, rispetto ai benefici che la struttura ha con i due interventi.

La struttura infatti in questo modo raggiunge il livello di sicurezza richiesto dalla Normativa, che garantisce prestazioni più elevate nell'organismo edilizio, e a confronto con un intervento di miglioramento che ha stessa modalità di esecuzione risulta più conveniente in termini costi e sicurezza finale.

Per condurre le analisi è stato fondamentale distinguere due modelli per la struttura, e differenziare il comportamento statico da quello in presenza delle azioni sismiche; in questo modo è stato possibile valutare che l'edificio presenta la maggior parte delle fragilità già per il caso statico, indicando che ad oggi è obbligatorio intervenire su questo comportamento che inevitabilmente ha conseguenze gravi con l'aggiunta delle azioni orizzontali di natura sismica.

In conclusione, con gli interventi scelti e progettati è stato raggiunto l'obiettivo di mettere in sicurezza la struttura considerando sia le problematiche nei confronti dei carichi gravitazionali, che prevenendo gli effetti dovuti alle azioni sismiche, beneficiando del massimo di detrazione fiscale aggiudicabile da un edificio di tipo produttivo. Possiamo quindi desumere che lo strumento del Sisma Bonus ha efficacia anche per la Zona Sismica 3

ALLEGATO A

TABELLE DI VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI ALLO STATO DI FATTO

CASO SISMICO

P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-875.63	-22.72	182.62	-22.72	182.62	1	SI
7.90	-384.92	-295.88	139.38	-48.05	139.38	5	NO
P2							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1267.38	-39.31	267.85	32.75	265.96	1	SI
1.55	-1138.92	256.16	264.63	-103.45	263.14	5	NO
4.00	-1106.06	-163.39	266.01	219.33	262.73	4	NO
P3							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1355.57	-42.13	268.35	35.09	266.46	1	SI
7.90	-52.537	-429.91	204.22	79.47	192.25	5	NO
P4							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1389.19	-43.21	268.44	-35.99	263.95	1	SI
7.90	-513.85	-416.53	235.26	109.12	218.79	4	NO
P5							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1364.22	236.98	268.4	-35.32	265.24	5	SI
7.90	-595.39	-427.99	221.5	111.44	203.69	4	NO
P6							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-106.74	130.59	123.58	-15.83	123.58	5	NO
7.90	-51.62	-103.86	96.53	-1.73	96.53	5	NO
P7							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-625.35	-16.08	164.47	17.16	163.62	4	SI
7.90	-210.88	-102.15	124.17	-66.08	124.17	4	NO
P8							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1448.96	37.58	258.87	45.13	268.37	1	SI
7.90	-631.83	226.76	203.63	195.97	221.44	5	NO
P9							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1379.32	35.72	264.,11	-42.89	268.43	1	SI
7.90	-63.627	89.03	202.11	338.86	225.4	5	NO
P10							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1790.33	72.71	635.63	72.71	635.63	1	SI
7.90	-798.78	-54.2	380.36	217.92	380.36	4	SI
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2966.47	-121.35	634.6	-121.35	634.6	1	SI
7.90	-1353.15	81.26	416.42	-568.37	416.42	4	NO

P12							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2718.66	-111.04	647.99	111.04	647.99	1	SI
7.90	-1210	-75.28	408.66	304.88	408.66	4	SI
P13							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2422	-98.75	648.88	98.75	648.88	1	SI
7.90	-1008	303.95	396.64	-46.64	396.64	5	SI
P14							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1891.86	49.16	375.19	-86.14	727.86	1	SI
7.90	-777.89	159.36	261.4	-257.10	491.01	4	SI
P15							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-610.01	-15.68	172.66	15.68	172.66	1	SI
7.90	-233.02	30.22	120.9	86.67	120.90	4	NO
P16							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-501.97	96.19	167.52	-38.59	167.52	5	SI
7.90	-248.21	243.6	124.61	19.73	124.61	5	NO
P17							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1296.68	-46.19	288.27	-55.22	409.97	5	SI
7.90	-598.46	-264.35	206.02	-286.37	269.02	4	NO
P18							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1534.19	54.78	417.96	-39.86	292.97	1	SI
4.00	-1258.03	206.9	412.6	-312.87	291.62	5	NO
P19							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1792.7	72.75	587.34	105.34	350.07	5	NO
7.90	-988.49	-149.76	425.36	-475.5	280.99	5	NO
P20							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1191.6	36.9	267	30.74	264.58	1	SI
7.90	-618.33	182.54	221.92	51.85	204.14	4	SI
P21							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-395.93	-55.47	219.55	80.29	199.2	5	SI
4.77	-215.61	64.42	192.63	-41.75	170.02	5	SI
P22							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1007.63	31.08	263.52	-25.89	257.84	1	SI
4.00	-807.29	155.91	258.09	-182.91	254.36	5	NO
5.79	-246.38	-32.44	179.79	-91.97	152.97	4	SI
P23							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-918.59	28.1	303.67	-23.56	256.17	1	SI
7.10	-454.13	50.78	203.42	-83.84	183.36	5	SI
P24							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-283.04	51.74	118.63	29.7	118.63	5	SI
4.00	-296.97	169.8	152.44	19.68	152.44	5	NO

P25							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-241.42	25.79	116.26	-33.23	116.26	5	SI
4.77	-71.33	-36.54	110.28	32.76	110.28	5	SI
P26							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-363.73	27.44	134.32	-25.37	134.32	5	SI
5.79	-187.44	-30.92	123.56	43.08	123.56	5	SI
P27							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-342.18	37.57	134.14	-18.85	134.14	5	SI
7.10	-13.176	4.10	116.96	54.40	116.96	5	SI
P28							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-594.32	15.27	171.94	15.27	171.94	1	SI
7.90	-370.5	-60.01	137.91	35.45	137.91	5	SI
P29							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-482.48	12.35	166.55	12.35	166.55	1	SI
7.90	-299.37	-20.33	128.32	69.34	128.32	5	SI
P30							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-784.28	-20.29	167.32	20.29	167.32	5	SI
7.10	-579.24	-19.65	147.52	144.04	147.52	5	SI
P31							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-211.62	39.98	137.97	-48.9	137.97	5	SI
7.10	-162.18	-45.05	129.6	60.26	129.60	5	SI
P32							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-203.32	-46.77	136.81	-123.17	136.81	5	NO
4.00	-298.99	-140.13	152.64	-21.76	152.64	5	SI
7.10	-221.18	70.30	123.17	-74.62	123.17	5	SI
P33							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-2.72	99.67	111.95	-38.5	99.67	1	SI
7.10	-6.60	94.01	94.01	50.18	94.01	5	NO
P34							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-101.4	-73.04	104.2	94.48	104.2	5	SI
7.10	-80.76	69.14	101.43	-96.95	101.43	5	NO
P35							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-292.22	-102.22	150.74	-148.58	150.74	5	NO
7.10	-270.86	108.26	142.28	145.95	142.28	5	NO

CASO STATICO

P1							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1262.66	-33.22	179.08	-33.22	179.08	1	SI
7.90	-584.01	-260.17	152.17	-81.76	153.23	1	NO
P2							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1845.11	-57.97	247.37	48.26	228.00	1	SI
7.90	-785.04	34.64	234.97	29.85	217.81	1	SI
P3							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1976.21	-62.27	237.93	51.83	216.45	1	SI
7.90	-824.54	-562.36	236.05	33.17	220.79	1	NO
P4							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2028.17	-63.98	234.7	-53.25	211.66	1	SI
7.90	-838.88	-682.59	259.46	-35.32	249.26	1	NO
P5							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1944.09	218.65	165.31	50.95	146.54	1	SI
7.90	-1045.55	-701.55	160.93	-41.73	147.04	1	NO
P6							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-465.29	126.01	165.69	-11.90	165.69	1	SI
7.90	-2.25	-85.04	89.5	-48.25	89.5	1	NO
P7							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-853.99	-22.14	181.96	22.14	181.96	1	SI
7.90	-365.36	-140.05	137.86	-19.69	137.86	1	NO
P8							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2076.82	54.58	206.11	65.58	230.8	1	SI
7.90	-1058.44	394.88	233.93	222.07	244.18	1	NO
P9							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-196.73	51.59	216.34	-61.97	239.36	1	SI
7.90	-108.708	72.97	234.06	50.89	244.82	1	SI
P10							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2569.8	104.87	649.41	104.87	649.41	1	SI
7.90	-1307.11	61.77	413.92	61.77	413.92	1	SI
P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4275.3	-176.3	506.53	-176.3	506.53	1	SI
7.90	-2292.13	-116.45	400.93	-647.43	400.93	1	NO

P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4275.3	-176.3	506.53	-176.3	506.53	1	SI
7.90	-2292.13	-116.45	400.93	-647.43	400.93	1	NO
P12							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-3909.91	-160.87	549.41	160.87	549.41	1	SI
7.90	-2036.48	101.51	414.11	240.15	414.11	1	SI
P13							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-3466.46	-142.24	593.96	142.24	593.96	1	SI
7.90	-1683.48	40.33	424.99	113.21	424.99	1	SI
P14							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2700.96	71.15	350.37	-123.4	702.29	1	SI
7.90	-1333.78	53.39	316.75	-352.41	572.76	1	SI
P15							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-887.34	-23.04	182.94	23.04	182.94	1	SI
7.90	-403.95	-15.16	141.73	53.95	141.73	1	SI
P16							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-633.19	65.77	173.70	-43.37	173.70	1	SI
7.90	-365.58	166.9	137.88	-13.55	137.88	1	NO
P17							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1975.72	-70.86	404.93	-51.82	275.92	1	SI
7.90	-906.71	-195.22	315.65	-433.79	237.8	1	NO
P18							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2183.31	78.47	386.3	-57.51	261.79	1	SI
4.00	-2140.02	192.44	389.21	-246.6	263.99	1	NO
P19							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2493.82	101.61	549.85	65.46	317.36	1	SI
7.90	-1521.08	-102.29	417.37	-681.81	315.19	1	NO
P20							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1700.94	53.27	257.32	44.35	239.99	1	SI
7.90	-924.18	164.2	239.83	42.13	227.33	1	SI
P21							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-772.47	-28.79	255.29	42.84	242.28	1	SI
4.77	-529.31	14.64	210.09	-20.03	191.05	1	SI
P22							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1432.73	44.61	263.1	-37.15	260.86	1	SI
5.79	-427.55	-33.54	198.95	-94.92	178.1	1	SI
P23							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1314.06	40.44	310.34	-33.99	266.05	1	SI
7.10	-694.22	52.32	225.34	-24.44	209.66	1	SI
P24							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-350.46	35.35	156.38	13.51	156.38	1	SI
4.00	-312.6	80.01	155.55	20.42	155.55	1	SI

P25							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-277.55	7.05	148.52	-18.88	148.52	1	SI
4.77	-229.64	-13.64	120.27	22.92	120.27	1	SI
P26							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-490.24	12.55	166.94	-12.55	166.94	1	SI
5.79	-413.78	-45.51	141.62	11.15	141.62	1	SI
P27							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-473.36	21.53	166.1	-12.11	166.1	1	SI
7.10	-279.98	20.74	127.94	15.56	127.94	1	SI
P28							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-876.92	22.76	182.66	22.76	182.66	1	SI
7.90	-662.36	-41.60	157.07	27.03	157.07	1	SI
P29							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-705.88	18.21	176.79	18.21	176.79	1	SI
7.90	-609.47	-20.82	154,31	22.21	154.31	1	SI
P30							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1087.02	28.42	186.28	28.42	186.28	1	SI
7.10	-957.15	38.57	166.96	67.65	166.96	1	SI
P31							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-439.81	11.24	164.4	-11.24	164.4	1	SI
7.10	-348.91	-31.85	143.46	11.26	143.46	1	SI
P32							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-508.41	32.32	167.84	22.08	167.84	1	SI
7.10	-395.78	-12.97	140.52	-35.64	140.52	1	SI
P33							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-163.2	33.62	135.94	26.77	135.94	1	SI
7.10	-136.36	-46.29	135.94	-16.41	135.94	1	SI
P34							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-190.79	-17.05	139.93	63.81	139.93	1	SI
7.10	-163.95	9.43	139.93	-65.72	139.93	1	SI
P35							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-471.16	-77.25	165.98	-112.6	165.98	1	SI
7.10	-443.39	100.10	165.98	110.76	165.98	1	NO

TABELLE DI VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO DEI PILASTRI ALLO STATO DI FATTO

CASO SISMICO

P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	80.82	242.30	242.30	383.60	4	SI
7.90	-54.95	242.30	242.30	370.77	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-99.80	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.90	130.55	242.30	242.30	372.89	5	SI

P2						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-112.95	161.53	161.53	479.50	4	SI
4.00	59.46	161.53	161.53	468.39	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-150.63	205.79	205.79	488.69	5	SI
4.00	32.24	205.79	205.79	478.39	5	SI

P3						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-112.79	161.53	161.53	479.50	4	SI
7.90	59.29	161.53	161.53	472.46	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-142.25	205.79	205.79	488.69	5	SI
7.90	178.61	205.79	205.79	483.06	5	SI

P4						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	115.12	153.84	153.84	479.50	4	SI
7.90	-62.95	153.84	153.84	471.14	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-133.28	195.99	195.99	488.69	5	SI
7.90	183.65	195.99	195.99	482.31	5	SI

P5						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-112.78	161.53	161.53	479.50	4	SI
7.90	-50.23	161.53	161.53	479.50	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	220.07	205.79	205.79	488.69	5	NO
7.90	195.27	205.79	205.79	482.31	5	SI

P6						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	86.64	161.53	161.53	353.06	4	SI
7.90	-41.79	161.53	161.53	320 867.00	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	133 050.00	161.53	161.53	334.78	5	SI
7.90	52 755.00	161.53	161.53	326.97	5	SI

P7						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-76.06	242.30	242.30	383.60	4	SI
7.90	-33.97	242.30	242.30	348.18	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-60.23	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.90	54.42	242.30	242.30	353.00	5	SI

P8						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-118.99	293.98	293.98	488.69	5	SI
7.90	85.49	293.98	293.98	488.69	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	103.32	230.76	230.76	479.50	4	SI
7.90	-106.41	230.76	230.76	479.50	4	SI

P9						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	180.96	205.79	205.79	488.69	5	SI
7.90	144.88	205.79	205.79	488.69	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	783.31	161.53	161.53	479.50	4	SI
7.90	-537.86	161.53	161.53	479.50	4	SI

P10						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	286.58	877.92	877.92	880.40	4	SI
7.90	901.79	681.37	684.81	681.37	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	347.90	877.92	877.92	880.40	5	SI
7.90	-66.83	676.38	684.81	676.38	5	SI

P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	365.89	228.62	228.62	855.10	4	NO
7.90	-229.52	194.55	194.55	623.70	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-319.56	228.62	228.62	855.10	5	NO
7.90	87.09	194.55	194.55	623.70	5	SI

P12						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-315.77	228.62	228.62	855.10	4	NO
7.90	116.67	194.55	194.55	623.70	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	282.50	228.62	228.62	855.10	5	NO
7.90	-64.77	194.55	194.55	623.70	5	SI

P13						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-280.19	85.51	228.62	85.51	4	NO
7.90	-72.54	194.55	194.55	623.70	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-258.92	85.51	228.62	85.51	5	NO
7.90	-92.33	194.55	194.55	623.70	5	SI

P14						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	349.39	80.40	451.41	80.40	5	SI
7.90	-139.24	451.41	451.41	785.58	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	123.87	215.38	215.38	767.20	4	SI
7.90	-65.82	215.38	215.38	749.47	4	SI

P15						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-54.17	161.53	161.53	383.60	4	NO
7.90	39.18	161.53	161.53	352.78	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-49.23	161.53	161.53	383.60	5	NO
7.90	-11.57	161.53	161.53	349.40	5	NO

P16						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	80.16	242.29	242.29	383.59	4	SI
7.90	17.33	242.29	242.29	348.49	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	155.67	242.29	242.29	383.59	5	SI
7.90	-113.43	242.29	242.29	355.46	5	SI

P17						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	146.81	323.06	323.06	575.39	5	SI
7.90	-145.53	323.06	323.06	575.39	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-175.36	375.06	375.06	593.78	4	SI
7.90	115.04	375.06	375.06	593.78	4	SI

P18						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	145.59	323.06	323.06	575.39	5	SI
4.00	145.59	323.06	323.06	575.39	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	183.18	375.06	375.06	593.78	4	SI
4.00	-149.98	375.06	375.06	593.78	4	SI

P19						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-147.25	323.06	323.06	671.29	5	NO
7.90	-196.02	323.06	323.06	671.29	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-213.63	294.29	294.29	698.88	4	SI
7.90	8.97	294.29	294.29	698.88	5	NO

P20						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-75.58	461.52	461.52	479.49	5	SI
7.90	34.89	461.52	461.52	479.49	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	108.79	440.97	440.97	488.69	4	SI
7.90	-74.38	440.97	440.97	488.69	5	SI

P21						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-129.33	161.53	161.53	453.93	5	SI
4.77	-162.34	161.53	161.53	429.07	5	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-120.00	205.79	205.79	475.32	4	SI
4.77	178.43	205.79	205.79	458.93	4	NO

P22						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-60.52	215.38	215.38	479.50	5	NO
5.79	-143.50	215.38	215.38	430.71	5	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	104.79	488.69	274 384.00	488.69	4	NO
5.79	22.99	443.91	274 384.00	443.91	4	NO

P23						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	69.82	215.38	215.38	479.50	5	SI
7.10	-45.99	215.38	215.38	463.88	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	107.02	274.38	274.38	488.69	4	SI
7.10	-303.18	274.38	274.38	474.79	4	SI

P24						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-72.93	161.53	161.53	342.74	4	SI
4.00	42.08	161.53	161.53	339.59	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	113.05	161.53	161.53	364.86	5	SI
4.00	-68.24	161.53	161.53	361.71	5	SI

P25						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	88.22	242.30	242.30	356.53	5	SI
4.77	72.83	242.30	242.30	329.54	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	65.43	242.30	242.30	340.96	4	SI
4.77	66.53	242.30	242.30	334.34	4	SI

P26						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	70.21	242.30	242.30	374.29	5	SI
5.79	45.22	242.30	242.30	346.21	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	62.52	242.30	242.30	357.82	4	SI
5.79	33.97	242.30	242.30	350.69	4	SI

P27						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	53.24	242.30	242.30	372.91	5	NO
7.10	8.90	242.30	242.30	351.00	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-49.59	242.30	242.30	362.34	4	NO
7.10	-12.04	242.30	242.30	351.00	4	NO

P28						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-46.26	242.30	242.30	383.60	4	SI
7.90	21.99	242.30	242.30	372.43	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	43.54	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.90	22.92	242.30	242.30	370.73	5	SI

P29						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-45.73	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.90	35.31	242.30	242.30	362.05	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	47.34	242.30	242.30	382.10	4	SI
7.90	-11.54	242.30	242.30	372.85	4	SI

P30						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-55.52	242.30	242.30	383.60	5	SI
7.10	76.56	242.30	242.30	383.60	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	52.72	242.30	242.30	383.60	4	SI
7.10	-146.02	242.30	242.30	383.60	4	SI

P31						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-15.04	323.07	323.07	365.56	5	NO
7.10	11.16	242.30	242.30	350.15	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	17.28	323.07	323.07	357.83	4	NO
7.10	3.86	242.30	242.30	350.15	4	NO

P32						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-103.91	242.30	242.30	347.20	5	SI
7.10	-35.30	242.30	242.30	351.08	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	53.66	347.20	347.20	347.20	5	SI
7.10	16.05	350.92	350.92	350.92	4	SI

P33						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-0.87	320.82	323.07	320.82	4	SI
7.10	-26.31	242.30	242.30	323.25	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-291.00	321.15	323.07	321.15	5	SI
7.10	32.03	242.30	242.30	320.60	5	SI

P34						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-1.11	323.07	323.07	324.97	5	SI
7.10	-34.59	242.30	242.30	331.10	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-0.75	323.07	323.07	324.33	4	SI
7.10	-25.53	242.30	242.30	331.10	5	SI

P35						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
1.94	46.65	242.30	242.30	361.04	5	SI
7.10	46.65	242.30	242.30	358.02	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-32.80	242.30	242.30	361.04	5	SI
7.10	-32.80	242.30	242.30	358.02	5	SI

CASO STATICO

P1						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	11.56	242.30	242.30	383.60	1	SI
7.90	-33.12	242.30	242.30	370.77	1	SI
z [m]	V _{Ed} [N]	V _{Rd} [N]	V _{Rsd} [N]	V _{Rcd} [N]	Caso	Verifica
0.00	-20.46	242.30	242.30	383.60	1	SI
7.90	100.69	242.30	242.30	383.60	1	SI

P2						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-19.30	161.53	161.53	479.50	1	SI
4.00	18.70	161.53	161.53	479.50	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-24.76	205.79	205.79	488.69	1	SI
4.00	24.70	205.79	205.79	488.69	1	SI

P3						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-1.94	161.53	161.53	479.50	1	SI
7.90	7.43	161.53	161.53	479.50	1	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-37.17	205.79	205.79	488.69	1	SI
7.90	202.70	205.79	205.79	483.06	1	NO

P4						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	3.52	153.84	153.84	479.50	1	SI
7.90	-11.41	153.84	153.84	479.50	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-37.84	195.99	195.99	488.69	1	SI
7.90	244.75	195.99	195.99	488.69	1	NO

P5						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-6.96	161.53	161.53	479.50	1	SI
7.90	0.60	161.53	161.53	479.50	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	92.56	205.79	205.79	488.69	1	SI
7.90	256.67	205.79	205.79	482 311.00	1	NO

P6						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	8.56	161.53	161.53	383.59	1	SI
7.90	-24.75	161.53	161.53	319.98	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	73.55	161.53	161.53	383.59	1	SI
7.90	43.03	161.53	161.53	319.98	1	SI

P7						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-1.35	242.30	242.30	383.60	1	SI
7.90	-4.67	242.30	242.30	371.39	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-16.85	242.30	242.30	383.60	1	SI
7.90	58.21	242.30	242.30	371.39	1	SI

P8						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-24.97	293.98	293.98	488.69	1	SI
7.10	80.32	293.98	293.98	488.69	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	35.50	230.76	230.76	479.49	1	SI
7.10	-143.09	230.76	230.76	479.49	1	SI

P9						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	6.43	205.79	205.79	488.69	1	SI
7.90	7.03	205.79	205.79	488.69	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	9.04	161.53	161.53	479.50	1	SI
7.90	-24.07	161.53	161.53	479.50	1	SI

P10						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-2.17	877.92	877.92	880.40	1	SI
7.90	13.79	681.37	684.81	681.37	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	6.13	877.92	877.92	880.40	1	SI
7.90	-2.53	676.38	684.81	676.38	1	SI

P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	85.70	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.10	-234.84	194.54	194.54	623.69	1	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-5.29	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.10	12.53	194.54	194.54	623.69	1	SI

P12						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-33.75	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.10	81.25	194.54	194.54	623.69	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-4.20	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.10	-10.17	194.54	194.54	623.69	1	SI

P13						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-6.51	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.90	-28.34	194.55	194.55	623.70	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-14.16	228.62	228.62	855.10	1	SI
7.90	-123.09	194.55	194.55	623.70	1	SI

P14						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	13.69	451.40	451.40	803.97	1	SI
7.90	-141.23	451.40	451.40	803.97	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	8.33	215.37	215.37	767.19	1	SI
7.90	-13.68	215.37	215.37	767.19	1	SI

P15						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-6.34	161.53	161.53	383.60	1	SI
7.90	20.38	161.53	161.53	376.86	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-48.30	161.53	161.53	383.60	1	SI
7.90	2.06	161.53	161.53	376.86	1	SI

P16						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	25.53	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.90	0.05	242.29	242.29	371.42	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	63.98	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.90	-68.35	242.29	242.29	371.42	1	SI

P17						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	36.87	323.06	323.06	575.39	1	SI
7.90	-155.87	323.06	323.06	575.39	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-24.51	375.06	375.06	593.78	1	SI
7.90	88.12	375.06	375.06	593.78	1	SI

P18						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	43.58	323.06	323.06	575.39	1	SI
4.00	-50.89	323.06	323.06	575.39	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	40.72	375.06	375.06	593.78	1	SI
4.00	-48.45	375.06	375.06	593.78	1	SI

P19						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	20.49	323.06	323.06	671.29	1	NO
7.90	-228.94	323.06	323.06	671.29	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-7.58	294.29	294.29	698.88	1	SI
7.90	47.37	294.29	294.29	698.88	1	NO

P20						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-2.07	461.52	461.52	479.49	1	SI
7.90	9.18	461.52	461.52	479.49	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	31.30	440.97	440.97	488.69	1	SI
7.90	-68.77	440.97	440.97	488.69	1	SI

P21						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-12.60	161.53	161.53	479.49	1	SI
7.10	-98.39	161.53	161.53	479.49	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-19.66	205.78	205.78	488.69	1	SI
7.10	110.88	205.78	205.78	488.69	1	SI

P22						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	30.85	215.38	215.38	479.50	1	SI
5.79	-143.23	215.38	215.38	460.12	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	6.29	274.38	274.38	488.69	1	SI
5.79	8.24	274.38	274.38	468.94	1	SI

P23						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	0.15	215.37	215.37	479.49	1	SI
7.10	-9.63	215.37	215.37	479.49	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	10.83	274.38	274.38	488.69	1	SI
7.10	-29.36	274.38	274.38	488.69	1	SI

P24						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-12.48	161.53	161.53	369.28	1	SI
4.00	5.58	161.53	161.53	365.20	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	40.32	161.53	161.53	369.28	1	SI
4.00	-24.69	161.53	161.53	365.20	1	SI

P25						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	20.20	242.30	242.30	358.96	1	SI
4.77	69.14	242.30	242.30	352.18	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	4.70	242.30	242.30	358.96	1	SI
4.77	38.94	242.30	242.30	352.18	1	SI

P26						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	3.48	242.30	242.30	383.59	1	SI
5.79	19.01	242.30	242.30	378.25	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	3.48	242.30	242.30	383.59	1	SI
5.79	44.46	242.30	242.30	378.25	1	SI

P27						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-2.65	242.30	242.30	383.59	1	SI
7.10	8.46	242.30	242.30	359.30	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	16.88	242.30	242.30	383.59	1	SI
7.10	-11.37	242.30	242.30	359.30	1	SI

P28						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-3.87	242.30	242.30	383.59	1	SI
7.90	4.99	242.30	242.30	383.59	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	1.33	242.30	242.30	383.59	1	SI
7.90	6.22	242.30	242.30	383.59	1	SI

P29						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-4.86	242.30	242.30	383.59	1	SI
7.90	8.88	242.30	242.30	383.59	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	1.48	242.30	242.30	383.59	1	SI
7.90	6.20	242.30	242.30	383.59	1	SI

P30						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-17.82	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.10	26.43	242.29	242.29	383.59	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	3.70	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.10	-13.65	242.29	242.29	383.59	1	SI

P31						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	1.81	323.07	323.07	381.93	1	SI
7.10	5.18	242.30	242.30	369.06	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	1.63	323.07	323.07	381.93	1	SI
7.10	14.23	242.30	242.30	369.06	1	SI

P32						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-47.27	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.10	-12.51	242.29	242.29	375.70	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	36.92	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.10	1.96	242.29	242.29	375.70	1	SI

P33						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-1.05	321.87	323.06	321.87	1	SI
7.10	-6.84	242.29	242.29	338.97	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-0.32	321.87	323.06	321.87	1	SI
7.10	-80.63	242.29	242.29	338.97	1	SI

P34						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-1.40	323.06	323.06	327.30	1	NO
7.10	-22.06	242.29	242.29	342.88	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-0.87	323.06	323.06	327.30	1	SI
7.10	-3.66	242.29	242.29	342.88	1	SI

P35						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsd_y} [kN]	V _{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
1.94	30.75	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.10	30.75	242.29	242.29	382.44	1	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsd_z} [kN]	V _{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-23.79	242.29	242.29	383.59	1	SI
7.10	-23.79	242.29	242.29	382.44	1	SI

TABELLE DI VERIFICA A FLESSIONE DELLE TRAVI ALLO STATO DI FATTO

CASO STATICO

SOLAIO A QUOTA 25,00 m

TRAVATA 1			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.80	-285.63	-1022.61	3.58
10.07	350.97	750.38	2.14
19.45	-435.64	-1232.14	2.83

TRAVATA 1			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-383.92	-1216.46	3.17
6.40	-182.19	-1013.23	5.56
11.50	-40.23	-1022.72	25.42

TRAVATA 2			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.80	-48.09	-749.02	15.58
10.12	-476.48	-2534.71	5.32
19.45	-916.06	-2894.06	3.16

TRAVATA 2			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-186.32	-2219.78	11.91
6.68	-212.17	-3023.33	14.25
13.37	-212.17	-2023.58	9.54

TRAVATA 3			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.80	-125.12	-206.36	1.65
10.72	479.20	2105.36	4.39
18.67	18.41	1512.82	82.17

TRAVATA 4			
Verifica a Flessione			
z [m]	M _{Sd} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd} [kNm]
0.00	-144.58	-793.16	5.49
10.41	262.04	526.91	2.01
16.51	11.59	461.95	39.86

TRAVATA 5			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-406.41	-704.77	1.73
8.85	-546.61	-1343.12	2.46
17.50	-447.92	-704.77	1.57

TRAVATA 6			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-52.65	-663.50	12.60
10.60	152.25	507.74	3.33
19.35	432.24	1161.02	2.69

TRAVATA 6			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-215.48	-1104.95	5.13
5.90	-118.56	-560.45	4.73
6.53	-215.48	-686.91	3.19

TRAVE 7			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-52.72	-307.60	5.83
3.45	39.75	298.69	7.51
4.25	-67.52	-308.64	4.57

TRAVE 8			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-46.95	-334.90	7.13
2.08	71.83	279.24	3.89
5.00	-46.81	-334.90	7.15

TRAVE 9			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-151.72	-308.68	2.03
3.45	36.94	298.31	8.08
4.25	2.19	244.08	111.45

TRAVE 10			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-58.35	-149.08	2.55
1.08	-36.77	-149.08	4.05
2.23	2.37	-149.08	-62.90

TRAVI 12			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-9.01	-280.81	31.17
1.18	8.04	151.33	18.82
2.15	-74.94	-280.81	3.75

TRAVI 14			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-26.24	-149.08	5.68
1.55	-178.09	-149.08	0.84
2.15	-224.72	-149.08	0.66

TRAVE 16			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-8.00	-414.38	51.80
1.89	-62.49	-477.75	7.65
2.35	-66.15	-478.63	7.24

TRAVE 18			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-14.90	-300.22	20.15
3.40	19.60	-300.22	-15.32
4.20	-14.90	-300.22	20.15

TRAVE 19			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-10.29	-334.90	32.55
2.11	16.46	279.24	16.96
4.65	-31.51	-334.90	10.63

TRAVE 20			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-52.90	-605.56	11.45
2.67	60.53	364.84	6.03
5.80	-71.54	-302.51	4.23

TRAVE 21			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-28.70	-334.90	11.67
3.70	19.41	294.01	15.15
4.92	14.68	298.25	20.32

TRAVE 1			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-469.49	-109.91	0.23
9.80	-367.86	-109.91	0.30
17.57	-336.10	-109.91	0.33

TRAVE 2			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-1083.95	-418.82	0.39
5.20	842.43	-418.82	-0.50
10.78	-825.33	-418.82	0.51

TRAVE 3			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-772.66	-1 062.05	1.37
5.49	768.69	1 009.36	1.31
10.67	-1002.99	-1 062.05	1.06

TRAVE 4			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-115.72	-597.88	5.17
0.75	4.58	678.93	148.24
1.50	1.27	624.96	492.09

TRAVE 5			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-141.07	-239.55	1.70
3.01	107.24	190.36	1.78
4.70	2.24	192.50	85.94

TRAVE 6			
Verifica a Flessione			
z [m]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Rd}/M_{Sd} [kNm]
0.00	-40.52	-209.58	5.17
1.15	8.02	277.89	34.65
1.95	-216.02	-254.23	1.18

SOLAIO A QUOTA 29,00 m

TRAVATA 1a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-156.81	1 192.82	1 510.74	1 192.82
18.05	-440.99	1 192.82	1 510.74	1 192.82
30.48	199.47	1 192.82	1 510.74	1 192.82

TRAVATA 2a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.40	-765.61	2 291.18	22 299.29	2 291.18
9.50	293.17	2 830.90	2 830.90	2 850.05
19.25	119.34	2 830.90	2 830.90	2 850.05

TRAVATA 2a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-429.49	2 830.90	2 830.90	2 850.05
6.68	-459.64	2 830.90	2 830.90	2 850.05
13.37	637.61	2 830.90	2 830.90	2 850.05

TRAVATA 3a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	106.10	1 192.82	1 762.53	1 192.82
3.50	-156.70	1 192.82	1 762.53	1 192.82

TRAVATA 3a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	498.58	591.81	V	V
15.70	669.12	591.81	V	V
28.15	-600.84	591.81	V	V

TRAVATA 5a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-28.83	763.41	1 510.74	763.41
8.60	-402.71	763.41	1 510.74	763.41
17.70	27.32	763.41	1 510.74	763.41

TRAVATA 6a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-87.65	678.58	1 510.74	678.58
5.00	224.46	678.58	1 510.74	678.58
13.35	-427.42	678.58	1 510.74	678.58

TRAVATA 6a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-97.52	678.58	1 510.74	678.58
3.51	200.48	508.94	1 510.74	508.94
6.53	228.10	678.58	1 510.74	678.58

TRAVE 1a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-30.56	510.95	510.95	519.54
8.85	-336.46	510.95	510.95	519.54
17.70	-164.42	397.61	503.58	397.61

TRAVE 2a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	644.48	510.95	510.95	519.54
6.60	-416.52	510.95	510.95	519.54
10.78	-441.59	510.95	510.95	519.54

TRAVE 3a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	97.71	510.95	510.95	519.54
6.19	-495.45	510.95	510.95	519.54
6.92	-498.80	510.95	510.95	519.54

TRAVE 5a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-42.85	339.29	503.58	339.29
2.57	96.28	339.29	503.58	339.29
4.70	49.77	339.29	503.58	339.29

TRAVE 6a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Red} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-244.27	526.16	526.16	531.56
1.95	241.73	526.16	526.16	531.56

TRAVE 7a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-114.66	339.29	503.58	339.29
3.45	112.27	339.29	503.58	339.29
4.25	102.20	339.29	503.58	339.29

TRAVE 8a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-144.22	503.58	503.58	508.94
4.20	-230.56	503.58	503.58	508.94
5.00	233.20	503.58	503.58	508.94

TRAVE 9a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-88.35	339.29	503.58	339.29
3.45	-201.08	339.29	503.58	339.29
4.25	78.81	339.29	503.58	339.29

TRAVE 36- TRAVE 39- TRAVE 42				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-196.72	678.74	678.74	685.96
10.28	64.32	811.25	811.25	814.58
19.70	-17.90	88.60	896.67	88.60

TABELLE DI VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO DELLE TRAVI ALLO STATO DI FATTO

CASO STATICO

SOLAIO A QUOTA 25,00 m

TRAVATA 1				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.60	-170.63	1 532.86	1 532.86	1 558.62
12.25	-577.32	1 532.86	1 532.86	1 558.62
19.45	53.22	1 192.82	1 532.86	1 192.82

TRAVATA 1				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-90.68	1 532.86	1 532.86	1 558.62
5.77	144.76	1 532.86	1 532.86	1 558.62
11.63	-186.92	1 192.82	1 532.86	1 192.82

TRAVATA 2				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.60	-760.96	2 266.11	2 266.11	2 290.22
10.25	-841.62	2 830.90	2 830.90	2 850.05
19.45	119.38	2 830.90	2 830.90	2 850.05

TRAVATA 2				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-457.62	1 192.82	2 266.11	1 192.82
6.68	-495.64	1 192.82	2 266.11	1 192.82
13.37	655.33	1 192.82	2 266.11	1 192.82

TRAVATA 3				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.60	-997.87	2 032.49	2 032.49	2 061.20
12.15	172.55	2 494.78	2 494.78	2 524.33
19.45	386.20	2 290.88	2 290.88	2 306.76

TRAVATA 4				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	142.19	1 192.82	1 510.74	1 192.82
9.48	119.55	1 192.82	1 510.74	1 192.82
16.77	-3.57	1 192.82	1 510.74	1 192.82

TRAVATA 5				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-49.11	764.41	1 510.74	764.41
8.85	-391.96	1 017.88	1 510.74	1 017.88
17.70	47.01	764.41	1 510.74	764.41

TRAVATA 6				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-146.40	764.41	1 510.74	764.41
10.60	50.80	1 017.88	1 510.74	1 017.88
19.35	63.33	1 192.82	1 510.74	1 192.82

TRAVATA 6				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-130.52	477.13	2 190.58	477.13
3.07	-213.59	1 192.82	1 510.74	1 192.82
6.53	137.22	477.13	2 190.58	477.13

TRAVE 7				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-143.42	339.29	503.58	339.29
1.68	164.79	339.29	503.58	339.29
4.25	116.20	339.29	503.58	339.29

TRAVE 8				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-101.17	510.95	510.95	519.54
2.92	-148.71	510.95	510.95	519.54
5.00	135.36	510.95	510.95	519.54

TRAVE 9				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-107.61	339.29	503.58	339.29
3.45	-176.94	339.29	503.58	339.29
4.25	102.35	339.29	503.58	339.29

TRAVE10				
Verifica a Taglio				
z [m]	V _{Sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
0.00	-128.98	254.47	503.58	254.47
1.35	134.23	254.47	503.58	254.47
2.43	127.78	254.47	503.58	254.47

TRAVE 12				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-116.44	254.47	503.58	254.47
1.18	-123.49	254.47	503.58	254.47
2.35	117.64	254.47	503.58	254.47

TRAVE 14				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-132.51	254.47	503.58	254.47
1.17	139.57	254.47	503.58	254.47
2.35	133.72	254.47	503.58	254.47

TRAVE 16				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-403.10	254.47	503.58	254.47
1.17	337.63	254.47	503.58	254.47
2.35	331.78	254.47	503.58	254.47

TRAVE 18				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-141.67	397.61	503.58	397.61
3.40	127.41	397.61	503.58	397.61
4.20	122.61	397.61	503.58	397.61

TRAVE 19				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-135.83	339.29	503.58	339.29
3.85	140.63	339.29	503.58	339.29
4.65	137.03	339.29	503.58	339.29

TRAVE 20				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-91.50	254.47	503.58	254.47
2.67	-107.50	254.47	503.58	254.47
5.80	56.64	254.47	503.58	254.47

TRAVE 21				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-128.10	339.29	503.58	339.29
2.46	-151.60	339.29	503.58	339.29
4.92	126.90	339.29	503.58	339.29

TRAVE 1				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	208.54	339.29	503.58	339.29
6.01	-232.46	154.22	503.58	154.22
8.85	228.63	339.29	503.58	339.29
17.70	-192.89	203.58	503.58	203.58

TRAVE 2				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	600.49	339.29	503.58	339.29
1.90	588.44	339.29	503.58	339.29
5.20	162.07	339.29	503.58	339.29
10.78	-368.20	339.29	503.58	339.29

TRAVE 3				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	449.47	601.89	601.89	604.36
3.15	431.79	397.61	503.58	397.61
10.67	-548.32	601.89	601.89	604.36

TRAVE 4				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-886.03	1 017.88	1 636.64	1 017.88
1.50	431.79	1 017.88	1 636.64	1 017.88

TRAVE 5				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-17.66	339.29	503.58	339.29
2.57	95.66	339.29	503.58	339.29
4.70	20.21	339.29	503.58	339.29

TRAVE 6				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-265.03	723.12	723.12	731.60
1.95	237.38	723.12	723.12	731.60

SOLAIO A QUOTA 29,00 m

TRAVATA 1a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-156.81	1 192.82	1 510.74	1 192.82
18.05	-440.99	1 192.82	1 510.74	1 192.82
30.48	199.47	1 192.82	1 510.74	1 192.82

TRAVATA 2a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.40	-765.61	2 291.18	22 299.29	2 291.18
9.50	293.17	2 830.90	2 830.90	2 850.05
19.25	119.34	2 830.90	2 830.90	2 850.05

TRAVATA 2a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-429.49	2 830.90	2 830.90	2 850.05
6.68	-459.64	2 830.90	2 830.90	2 850.05
13.37	637.61	2 830.90	2 830.90	2 850.05

TRAVATA 3a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	106.10	1 192.82	1 762.53	1 192.82
3.50	-156.70	1 192.82	1 762.53	1 192.82

TRAVATA 3a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	498.58	591.81	V	V
15.70	669.12	591.81	V	V
28.15	-600.84	591.81	V	V

TRAVATA 5a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-28.83	763.41	1 510.74	763.41
8.60	-402.71	763.41	1 510.74	763.41
17.70	27.32	763.41	1 510.74	763.41

TRAVATA 6a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-87.65	678.58	1 510.74	678.58
5.00	224.46	678.58	1 510.74	678.58
13.35	-427.42	678.58	1 510.74	678.58

TRAVATA 6a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-97.52	678.58	1 510.74	678.58
3.51	200.48	508.94	1 510.74	508.94
6.53	228.10	678.58	1 510.74	678.58

TRAVE 1a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-30.56	510.95	510.95	519.54
8.85	-336.46	510.95	510.95	519.54
17.70	-164.42	397.61	503.58	397.61

TRAVE 2a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	644.48	510.95	510.95	519.54
6.60	-416.52	510.95	510.95	519.54
10.78	-441.59	510.95	510.95	519.54

TRAVE 3a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	97.71	510.95	510.95	519.54
6.19	-495.45	510.95	510.95	519.54
6.92	-498.80	510.95	510.95	519.54

TRAVE 5a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-42.85	339.29	503.58	339.29
2.57	96.28	339.29	503.58	339.29
4.70	49.77	339.29	503.58	339.29

TRAVE 6a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-244.27	526.16	526.16	531.56
1.95	241.73	526.16	526.16	531.56

TRAVE 7a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-114.66	339.29	503.58	339.29
3.45	112.27	339.29	503.58	339.29
4.25	102.20	339.29	503.58	339.29

TRAVE 8a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-144.22	503.58	503.58	508.94
4.20	-230.56	503.58	503.58	508.94
5.00	233.20	503.58	503.58	508.94

TRAVE 9a				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-88.35	339.29	503.58	339.29
3.45	-201.08	339.29	503.58	339.29
4.25	78.81	339.29	503.58	339.29

TRAVE 36- TRAVE 39- TRAVE 42				
Verifica a Taglio				
z [m]	V_{Sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
0.00	-196.72	678.74	678.74	685.96
10.28	64.32	811.25	811.25	814.58
19.70	-17.90	88.60	896.67	88.60

TABELLE DI VERIFICA A PRESSOFLESSIONE DEI PILASTRI POST-ADEGUAMENTO

CASO SISMICO

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE							
P1							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 422.29	-50.39	626.00	-50.39	626.00	1	SI
7.90	-457.40	-622.16	718.74	-85.70	718.74	5	SI
P2							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 881.49	-76.23	702.03	66.98	597.18	1	SI
4.00	-475.01	23.14	545.05	426.78	463.01	4	SI
P3							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2 091.52	-84.82	708.51	74.55	602.59	1	SI
7.90	-551.53	-424.29	775.03	379.20	656.70	4	SI
P4							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2109.37	-85.55	708.94	-75.20	602.95	1	SI
7.90	-528.74	-493.4	920.62	309.79	802.85	4	SI
P5							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1489.88	450.33	591.19	-529.05	502.98	5	SI
7.90	-976.56	-826.72	972.01	-428.32	853.04	1	SI
P6							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-81.88	364.15	475.52	475.72	475.52	5	SI
7.90	-137.08	-122.15	275.60	-50.72	275.60	5	SI
P7							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-977.67	-34.62	473.75	34.62	473.75	1	SI
7.90	-209.96	-213.93	305.05	-145.95	305.05	4	SI
P8							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2140.61	-87.31	603.90	76.93	514.35	1	SI
7.90	-1062.05	-320.24	984.87	477.52	860.61	1	SI
P9							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 950.18	-78.77	904.03	69.12	766.81	1	SI
7.90	-596.58	-701.56	775.58	143.06	699.99	5	SI
P10							
z [m]	N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	M_{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2547.33	-104.19	520.72	-104.19	520.72	1	SI
7.90	-749.48	232.45	281.97	-127.24	281.07	5	SI

P11							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-4265.6	-217.72	937.91	-217.72	937.91	1	SI
7.90	-1314.61	116.33	1 118.92	-1 028.44	1 118.92	4	SI
P12							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-3850.32	-196.91	908.84	196.91	908.84	1	SI
7.90	-1146.42	-91.47	689.05	615.97	689.05	4	SI
P13							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-3567.44	-180.04	865.19	-183.04	865.19	1	SI
7.90	-1696.13	491.48	735.26	-105.76	735.26	1	SI
P14							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2590.01	70.03	231.48	119.11	466.99	1	SI
7.90	-739.64	194.13	271.77	-209.64	543.77	4	SI
P15							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-996.50	-35.40	407.22	35.40	407.22	1	SI
7.90	-262.60	83.63	302.09	224.43	302.09	4	SI
P16							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-723.21	205.23	495.09	-220.07	495.09	4	SI
7.90	-289.73	541.38	581.5	74.73	581.5	5	SI
P17							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2031.54	-92.55	800.07	-72.61	593.63	1	SI
7.90	-638.51	-557.67	1194.82	-324.48	949.61	4	SI
P18							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2239.35	102.36	753.00	-80.55	558.93	1	SI
4.00	-1315.92	596.63	709.72	-229.68	548.46	4	SI
P19							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-2 029.20	102.60	754.27	207.61	510.36	5	SI
7.90	-935.11	-628.97	1 473.73	-456.87	1 068.58	4	SI
P20							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1 659.72	519.05	195.60	44.42	154.31	1	SI
7.90	-617.82	195.63	226.52	64.44	187.26	4	SI
P21							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-276.2	-88.92	416.93	230.16	353.75	5	SI
4.77	-316.38	288.48	334.37	39.58	283.71	4	SI
P22							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1501.83	60.97	564.64	-53.62	482.98	1	SI
4.00	-266.57	-107.77	346.50	-139.90	302.63	4	SI

P23							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1290.4	40.03	227.63	34.06	178.06	1	SI
7.10	-438.98	44.17	200.03	-78.73	157.10	5	SI
P24							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-514.22	99.59	313.12	98.93	313.12	5	SI
4.00	-464.27	379.10	362.26	180.16	362.26	5	SI
P25							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-269.68	-24.02	133.07	-22.38	133.07	4	SI
4.77	-187	59.85	120.97	27.57	120.97	4	SI
P26							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-412.23	10.53	117.81	-22.42	117.81	5	SI
5.79	-151.05	-28.48	119.23	53.32	119.23	5	SI
P27							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-190.74	114.1	275.73	42.54	275.73	4	SI
7.10	152.49	46.27	289.17	-85.51	289.17	5	SI
P28							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-984.23	-34.96	405.74	34.96	405.74	1	SI
7.90	-393.6	-160.40	327.65	91.46	327.65	5	SI
P29							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-698.68	18.04	405.74	18.04	405.74	1	SI
7.90	-293.8	-17.72	327.65	65.23	327.65	5	SI
P30							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-1061.79	27.79	154.32	27.79	154.32	1	SI
7.10	-582.26	-19.32	152.78	143.85	152.78	5	SI
P31							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-234.75	97.5	158.13	-154.96	158.13	5	SI
7.10	-154.92	-132.91	152.78	112.55	152.78	5	SI
P32							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
0.00	-247.75	86.79	342.32	82.11	342.32	5	SI
7.10	-225.16	60.99	282.78	-129.37	282.78	5	SI
P33							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-17.07	3.04	242.02	2.31	242.02	4	SI
7.10	-15.06	-231.39	330.68	200.18	330.68	5	SI
P34							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-83.61	9.47	314.66	-3.33	314.66	1	SI
7.10	-86.62	228.05	384.7	-260.60	384.70	5	SI
P35							
z [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Edy} [kNm]	M _{Rdy} [kNm]	M _{Edz} [kNm]	M _{Rdz} [kNm]	Caso	Verifica
1.94	-403.36	-244.65	707.31	-471.33	707.31	5	SI
7.10	-355.30	244.31	683.32	433.59	683.32	5	SI

TABELLE DI VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO DEI PILASTRI POST-ADEGUAMENTO

CASO SISMICO

VERIFICA A TAGLIO						
P1						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	256.88	340.29	340.29	742.23	4	SI
7.90	-125.44	294.92	294.92	678.93	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-323.49	340.29	340.29	742.23	5	SI
7.90	285.43	294.92	294.92	681.09	5	SI
P2						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-320.94	340.29	340.29	865.94	4	SI
4.00	193.37	201.08	201.08	791.02	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-377.00	400.52	400.52	873.60	4	SI
4.00	51.19	236.67	236.67	800.76	4	SI
P3						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-322.33	340.29	340.29	865.94	4	SI
7.90	177.63	221.19	221.19	802.20	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-278.73	400.52	400.52	873.60	5	SI
7.90	258.10	260.34	260.34	854.08	1	SI
P4						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	324.41	340.29	340.29	865.92	4	SI
7.90	-167.13	245.76	245.76	796.94	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-229.47	400.52	400.52	873.60	5	SI
7.90	286.83	289.26	289.26	855.01	1	SI
P5						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-312.39	402.16	402.16	865.94	4	
7.90	130.60	294.92	294.92	800.27	4	
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	452.17	473.34	473.34	873.60	5	NO
7.90	345.20	347.12	347.12	871.96	1	SI
P6						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	256.46	402.16	402.16	669.57	4	SI
7.90	-61.30	232.83	232.83	622.40	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	372.95	402.16	402.16	630.49	5	SI
7.90	77.83	232.83	232.83	639.12	5	SI

P7						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	248.40	260.22	260.22	678.94	4	SI
7.90	-72.96	232.83	232.83	647.01	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-158.95	260.22	260.22	729.69	5	SI
7.90	115.38	232.83	232.83	675.34	1	SI
P8						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-257.14	260.22	260.22	865.94	4	SI
7.90	193.40	201.08	201.08	865.94	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-250.42	306.28	306.28	873.60	5	SI
7.90	147.73	236.67	236.67	818.42	5	SI
P9						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-213.42	442.38	442.38	865.94	4	SI
7.90	106.06	276.49	276.49	802.70	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-481.33	520.68	520.68	873.60	5	SI
7.90	314.14	325.42	325.42	815.94	5	SI
P10						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	273.24	337.07	337.07	712.58	4	SI
7.90	104.73	163.90	163.90	519.74	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-316.60	337.07	337.07	712.58	5	SI
7.90	-80.87	163.90	163.90	519.74	5	SI
P11						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	585.76	656.33	656.33	1 189.29	4	NO
7.90	-429.06	437.55	437.55	1 165.43	4	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-515.10	656.33	656.33	1 189.29	5	NO
7.90	177.06	437.55	437.55	1 166.87	5	SI
P12						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-525.36	583.40	583.40	1 189.29	4	NO
7.90	237.16	250.03	250.03	1 143.12	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-376.18	583.40	583.40	1 189.29	5	NO
7.90	-113.89	250.03	250.03	1 139.95	5	SI
P13						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	490.53	525.06	525.06	1 189.29	4	NO
7.90	-125.47	276.35	276.35	1 123.86	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-365.58	525.06	525.06	1 189.29	5	NO
7.90	-152.87	276.35	276.35	1 189.29	5	SI

P14						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	249.01	315.25	315.25	669.98	5	SI
7.90	-151.58	315.25	315.25	669.98	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	112.60	150.41	150.41	639.32	4	SI
7.90	-81.77	150.41	150.41	639.32	4	SI
P15						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-170.34	232.83	232.83	724.98	4	NO
7.90	93.59	232.83	232.83	656.90	4	NO
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-149.38	232.83	232.83	709.66	5	NO
7.90	-41.77	232.83	232.83	652.77	5	NO
P16						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	297.46	491.53	491.53	722.83	4	SI
7.90	52.24	245.76	245.76	651.82	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	485.47	491.53	491.53	718.83	5	SI
7.90	-240.53	245.76	245.76	662.82	5	SI
P17						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	340.24	340.29	340.29	989.64	5	SI
7.90	-188.73	192.34	192.34	956.96	1	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-359.80	460.75	460.75	1 004.97	4	SI
7.90	260.15	260.42	260.42	930.11	4	SI
P18						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	284.17	294.92	294.92	989.64	5	SI
4.00	-196.00	210.65	210.65	989.64	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	366.82	399.32	399.32	1 004.97	4	SI
4.00	-279.46	285.22	285.22	1 004.97	4	SI
P19						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	380.20	402.16	402.16	1 097.93	5	SI
7.90	.282.36	294.92	294.92	1 113.35	1	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-395.69	615.70	615.70	1 136.34	4	SI
7.90	194.15	451.51	451.51	1 086.41	4	SI
P20						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsd_y} [kN]	V_{Rcd_y} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-57.87	150.41	150.41	399.58	5	SI
7.90	33.55	136.09	136.09	136.09	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsd_z} [kN]	V_{Rcd_z} [kN]	Caso	Verifica
0.00	99.79	191.62	191.62	407.24	4	SI
7.90	-86.27	173.37	173.37	407.24	4	SI

P21						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-345.95	368.65	368.65	762.71	5	SI
4.77	-102.07	232.83	232.83	746.59	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-287.16	433.90	433.90	801.86	4	SI
4.77	172.13	274.04	274.04	781.87	4	SI
P22						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	223.27	232.83	232.83	846.45	5	SI
5.79	-196.34	232.83	232.83	793.00	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	247.44	274.04	274.04	871.13	4	SI
5.79	44.21	274.04	274.04	800.01	4	SI
P23						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-56.81	150.41	150.41	399.58	5	SI
7.10	-41.48	150.41	150.41	395.14	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	85.32	191.62	191.62	407.24	4	SI
7.10	-33.21	191.62	191.62	404.62	4	SI
P24						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-247.79	315.98	315.98	652.90	4	SI
4.00	135.69	232.83	232.83	645.60	4	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	308.91	315.98	315.98	705.34	5	SI
4.00	-192.40	232.83	232.83	698.04	5	SI
P25						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	55.19	150.41	150.41	314.49	5	SI
4.77	85.33	150.41	150.41	282.12	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-54.10	293.09	315.98	293.09	4	SI
4.77	112.77	232.83	232.83	282.05	4	SI
P26						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	48.72	150.41	150.41	319.66	5	SI
5.79	56.21	150.41	150.41	287.77	5	SI
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	49.21	150.41	150.41	299.52	4	SI
5.79	47.06	150.41	150.41	296.69	4	SI
P27						
z [m]	V _{Edy} [kN]	V _{Rdy} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-189.38	232.83	232.83	645.81	5	NO
7.10	58.91	232.83	232.83	640.05	5	NO
z [m]	V _{Edz} [kN]	V _{Rdz} [kN]	V _{Rsdz} [kN]	V _{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	232.41	232.83	232.83	654.03	4	NO
7.10	-38.81	232.83	232.83	655.14	4	NO

P28						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-152.88	232.83	232.83	715.50	4	SI
7.90	49.08	232.83	232.83	672.99	4	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-138.06	232.83	232.83	691.29	5	SI
7.90	52.74	232.83	232.83	675.31	5	SI
P29						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-41.14	150.41	150.41	319.66	5	SI
7.90	34.77	150.41	150.41	307.98	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-39.58	150.41	150.41	318.77	4	SI
7.90	12.61	150.41	150.41	305.88	4	SI
P30						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-52.34	150.41	150.41	319.66	5	SI
7.10	80.19	150.41	150.41	319.66	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	44.24	150.41	150.41	319.66	4	SI
7.10	-18.31	150.41	150.41	319.66	4	SI
P31						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	52.61	232.83	232.83	650.32	5	SI
7.10	61.61	232.83	232.83	641.06	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	45.27	232.83	232.83	664.30	4	SI
7.10	69.02	232.83	232.83	641.16	4	SI
P32						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
0.00	-245.89	260.22	260.22	654.21	5	SI
7.10	-41.69	232.83	232.83	651.42	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
0.00	131.66	260.22	260.22	654.21	1	SI
7.10	-24.12	232.83	232.83	651.42	4	SI
P33						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Redy} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-3.74	368.65	368.65	621.58	5	SI
7.10	-86.68	210.65	210.65	618.52	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Redz} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-1.49	368.65	368.65	621.02	4	SI
7.10	82.50	210.65	210.65	620.61	5	SI

P34						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-2.83	491.53	491.53	630.74	1	SI
7.10	-99.17	184.32	184.32	631.35	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-3.43	491.53	491.53	630.74	1	SI
7.10	-90.70	184.32	184.32	631.18	5	SI
P35						
z [m]	V_{Edy} [kN]	V_{Rdy} [kN]	V_{Rsdy} [kN]	V_{Rcdy} [kN]	Caso	Verifica
1.94	165.41	184.32	184.32	677.61	5	SI
7.10	165.41	184.32	184.32	670.59	5	SI
z [m]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	V_{Rsdz} [kN]	V_{Rcdz} [kN]	Caso	Verifica
1.94	-87.50	184.32	184.32	677.46	5	SI
7.10	-87.50	184.32	184.32	670.44	5	SI

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] “Classificazione della vulnerabilità sismica degli edifici e sisma bonus”, Prontuario tecnico e fiscale aggiornato al D.M. gennaio 2018, Roberto Cornacchia – Matilde Fiammelli, Maggioli Editore.

[2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Classi Rischio Sismico e Sismabonus–slide, <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-58-del-28022017>.

[3] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,
http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/84perc.html.

[4] Rischio Sismico di Genova, <https://www.tuttitalia.it/liguria/45-genova/rischio-sismico/>.

[5] Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, “Norme Tecniche per le Costruzioni” (Pubblicazione in Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018).

[6] “Strutture esistenti in c.a. e strutture esistenti in c.a. e c.a.p., livelli di conoscenza, prove distruttive e non distruttive, progetto simulato. Caso studio di edificio prefabbricato in c.a./c.a.p.”,
<http://www.federazioneingegneri.toscana.it/Convegni/SemVulnerabilitaSismicaMorelli.pdf>.

[7] Circolare Ministeriale 21 gennaio 2019 n.7, Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, (Pubblicazione in Gazzetta Ufficiale n. 35 dell’11 febbraio 2019).

[8] Decreto Ministeriale 28 febbraio 2017, numero 58,
<http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-58-del-28022017>.

[9] Decreto Ministeriale 7 marzo 2017, numero 65, Sisma Bonus – Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni e relativi allegati,
<http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-65-del-07032017>.

[10] Decreto Ministeriale 65, 07-03-2017, Allegato A, “Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni”.

- [11] DOLMEN 2018. Manuale DOLMEN – Versione 18. <https://www.cdmdolmen.it/>
- [12] Eurocodice 8, “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica” UNI EN 1998-1
- [13] Ingegneri_{cc}, <https://www.ingegneri.cc/incamiciatura-in-c-a.html>
- [14] Interbau, <https://www.interbau-srl.it/it>
- [15] “Valutazione semplificata delle vulnerabilità sismica: gli edifici in c.a. del comune di Ivrea”, Igenio, Alessandro P. Fantilli, Bernardino Chiaia, Sean Ollearo